VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

А. ПАННЕКУК

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

Перевод с английского
Н. И. НЕВСКОЙ,
сверенный с голландским изданием

Под редакцией
проф. Б. В. КУКАРКИНА
и доц. П. Г. КУЛИКОВСКОГО

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1966

52 (09)
П 16
УДК 520 (09)

A. PANNEKOEK

A HISTORY OF ASTRONOMY

RUSKIN HOUSE
GEORGE ALLEN & UNWIN LTD
MUSEUM STREET LONDON

А. Паннекук

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

М., 1966 г., 592 стр. с илл.

Редактор *И. Е. Рахлин.*
Художник *Н. И. Максимов.*
Техн. редактор *С. Я. Шкляр.*
Корректор *З. В. Автонеева.*

Сдано в набор 5/VIII 1965 г. Подписано к печати 11/I 1966 г. Бумага 60 × 90 1/16.
Физ. печ. л. 37. Условн. печ. л. 37. Уч.-изд. л. 36,97. Тираж 3500 экз.
Цена книги 2 р. 86 к. Заказ № 2931

Издательство «Наука».
Главная редакция физико-математической литературы
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

2-я типография Изд-ва «Наука», Москва,
Шубинский пер., 10

2—6—1
152—65

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора 5
Предисловие переводчика 8
Введение 11

Часть I
АСТРОНОМИЯ В ДРЕВНЕМ МИРЕ

Глава 1. Жизнь и звездное небо 17
Глава 2. Земледелие и календарь 22
Глава 3. Знания о небе в Древнем Вавилоне 28
Глава 4. Ассирийская астрология 37
Глава 5. Новая вавилонская наука 49
Глава 6. Халдейские таблицы 66
Глава 7. Египет 89
Глава 8. Китай 93
Глава 9. Греческие поэты и философы 105
Глава 10. Календарь и геометрия 117
Глава 11. Системы мира 125
Глава 12. Практическая астрономия и астрология . . 134
Глава 13. Теория эпициклов 147
Глава 14. Конец античной астрономии 158
Глава 15. Арабская астрономия 177

Часть II
ВЕК РЕВОЛЮЦИИ

Глава 16. Мрачная Европа 187
Глава 17. Возрождение науки 192
Глава 18. Коперник 202
Глава 19. Астрономические вычисления 214
Глава 20. Тихо Браге 219
Глава 21. Реформа календаря 233
Глава 22. Борьба за систему мира 239
Глава 23. Кеплер 252

Глава 24. Механика и философия 264
Глава 25. Телескопы 272
Глава 26. Ньютон 283
Глава 27. Практическая астрономия 299
Глава 28. Астрономы в пути 306
Глава 29. Усовершенствование практики 313
Глава 30. Усовершенствование теории 322

Часть III

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Глава 31. Мир расширяется 335
Глава 32. Прецизионная техника 346
Глава 33. Расстояния и размеры 368
Глава 34. Небесная механика 382
Глава 35. Множественность миров 404
Глава 36. Космогония и эволюция 433
Глава 37. Солнце 443
Глава 38. Кометы и метеорные тела 463
Глава 39. Пекулярные звезды 476
Глава 40. Обычные звезды 495
Глава 41. Галактика 524
Глава 42. В бесконечном пространстве 543
Глава 43. Жизнь звезд 555
Заключение 562
Комментарии 563
Именной указатель 590

ВВЕДЕНИЕ

История астрономии отличается от истории других естественных наук прежде всего своей особой древностью. В далеком прошлом, когда из практических навыков, накопленных в повседневной жизни и деятельности, еще не сформировалось никаких систематических знаний по физике и химии, астрономия уже была высокоразвитой наукой. Эта древность и определяет то особое место, которое астрономия занимает в истории человеческой культуры. Другие области естествознания развились в науки только за последние столетия, и этот процесс протекал главным образом в стенах университетов и лабораторий, куда лишь изредка проникал шум бурь политической и общественной жизни [1]. В противоположность этому астрономия уже в древности выступала как наука, как система теоретических знаний, которая [значительно превосходила практические потребности людей] и стала важным фактором в их идейной борьбе.

История астрономии совпадает с процессом развития человечества, начиная с самого возникновения цивилизации, и относится главным образом к тому времени, когда общество и личность, труд и обряд, наука и религия в основном еще составляли единое нераздельное целое. На протяжении всех этих столетий учение о звездах было существенной частью философско-религиозного мировоззрения, являвшегося отражением общественной жизни. Если современный физик оглянется на своих предшественников, стоящих первыми у основания здания науки, он найдет таких же людей, как и он сам, с аналогичными представлениями об эксперименте и теории, о причине и следствии; [правда, это были первые, более сложные искания]. Если же астроном посмотрит назад, на своих предшественников, он обнаружит вавилонских жрецов и прорицателей, греческих философов, мусульманских

властителей, средневековых монахов, дворян и духовных лиц эпохи Возрождения и так далее, до тех пор, пока в лице ученых XVII и XVIII вв. не встретит своих собратьев по профессии. Для всех них астрономия была не ограниченной отраслью науки, а учением о мире, тесно связанным с их мыслями и чувствами, со всем их мировоззрением в целом.

Работу этих ученых вдохновляли не сложившиеся по традиции задачи профессиональной гильдии, а глубочайшие проблемы человечества и всего мира.

История астрономии явилась развитием того представления, которое человек составил себе о мире. В людях всегда жило инстинктивное сознание того, что небо над ними было источником и сущностью их жизни в более глубоком смысле, чем Земля [доставлявшая им продукты питания]. С неба исходили свет и тепло. Там описывали свои орбиты небесные тела — Солнце и звезды. Там пребывали боги, которые управляли судьбой человека и выражали свою волю при помощи звезд. Небо было близким; звезды принимали участие в жизни людей. Изучение звезд сулило раскрытие тайн этого высшего мира и было самой благородной целью, ради которой человеку стоило напрягать мышление и духовные усилия.

Это веками длившееся изучение уже в древности выдвинуло два направления: правильную закономерность небесных явлений и [огромную] обширность вселенной [в пространстве]. Внутри всеобъемлющей небесной сферы с ее неподвижными звездами Земля была лишь маленьким темным шаром, хотя она все еще считалась центром и целью мироздания. Вокруг нее обращались со строго определенными периодами другие небесные тела: Солнце, Луна, планеты. Некоторые из них превосходили ее по величине. Все они оказывали постоянное влияние на земные события. Такова была картина мира, заимствованная из античности западноевропейской культурой, возникшей в период средневековья.

В XVI столетии, под влиянием бурного общественного развития, астрономия выдвинула новую картину мира. В ее основу были положены два важнейших открытия. Прежде всего то, что неподвижность Земли, представлявшаяся наиболее достоверным фактом, основой нашей жизни,— была только кажущейся, обманчивой. Затем — открытие, что Земля является лишь одной из многих, похожих друг на друга [шарообразных] планет, и что далеко за пределами солнечной системы простирается бесконечное пространство с другими солнцами и звездными мирами. С большими усилиями и в ожесточенной борьбе человечеству пришлось заново ориентироваться в своем мире. В этот век революции борьба за астрономическую картину мира была важным элементом в общей идейной борьбе, которая обычно сопровождает великие социальные перевороты.

Астрономия, как и все естествознание в целом, вступила в новую эру. Следующий век принес открытие фундаментального закона, который предопределял все движения во вселенной. Таким образом, философское мышление впервые столкнулось с фактом строгого применения точного закона природы. Место прежнего мистического астрологического влияния звезд на человечество заняло всеобъемлющее действие чисто механической силы притяжения.

Наконец, в современный век науки представление о вселенной расширилось до гигантских, непрерывно увеличивающихся размеров, выражаемых такими числами, по сравнению с которыми нечего и говорить о ничтожных размерах Земли. И опять, как и всегда, астрономия является наукой о вселенной в целом, но теперь — исключительно в пространственном представлении. Если в древности интуитивное ощущение единства звездного и человеческого миров наполняло гордостью сердца исследователей высших сфер, то теперь это чувство вызывает гордое сознание силы человеческого разума, который, находясь на нашей маленькой планете, сумел постигнуть самые отдаленные звездные системы.

В прошлые века, когда физическая теория состояла лишь из абстрактных рассуждений, астрономия уже была упорядоченной системой знаний, использовавшихся для практической ориентировки во времени и пространстве. По мере того как в последующие столетия удавалось все лучше добиваться этой цели, астрономические исследования все более направлялись на теорию, на теоретическое познание строения мира. Оно выходило далеко за пределы сугубо «практического приложения» и удовлетворяло стремление к истине, т. е. к интеллектуальной красоте[2]. Теперь

и взаимосвязь наук была противоположна той, которая существовала раньше. В результате быстрого и все ускоряющегося в последние столетия развития физика, химия и биология как науки поднялись на значительную высоту. Благодаря развитию техники, все более глубокому ее проникновению во все трудовые методы и приемы, на которых основана наша жизнь, они преобразили Землю и человечество. Астрономия стояла в стороне от этой революции [3]. Звезды не могут [или едва могут] внести какой-либо вклад в нашу технику, экономическую организацию и материальную жизнь [4].

Изучение звезд стало приобретать все более отвлеченный характер. В то время как другие науки добивались блестящих успехов в коренном преобразовании человеческого мира, занятие астрономией стало смелым поиском ума, исключительной областью культуры. Таким образом, и теперь ее история остается тем, чем она была всегда: существенной частью истории человеческой культуры.

Всякий, кто углубляется в прошлое, воспринимает развитие человечества как бы на собственном опыте. Цель этого труда и состоит в том, чтобы изложить развитие нашей астрономической картины мира в прошлом как одно из событий истории человечества, производящих наиболее глубокое впечатление,— в развитии представлений о вселенной.

ЧАСТЬ I

АСТРОНОМИЯ В ДРЕВНЕМ МИРЕ

ГЛАВА 1

ЖИЗНЬ И ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

Начало астрономии восходит к тем доисторическим временам, сведения о которых не сохранились. В древнейших письменных источниках мы находим указания на то, что на заре истории астрономические явления уже привлекали внимание человека. И сегодня у народов, стоящих на низшей ступени общественного развития, мы встречаем определенное знание звезд и небесных явлений.

Что заставило первобытного человека поднять глаза от земли к небу? Не привлекала ли его красота звездного неба с бесчисленными светящимися точками удивительного разнообразия яркости, цвета и узора? Не была ли причиной, вызвавшей его любопытство, величавая правильность их движения по небесному своду? Позднее этот интерес могли возбуждать движущие и вдохновляющие силы, носящие отвлеченный характер, но первобытный человек вел такую тяжелую борьбу для того, чтобы сохранить свою жизнь, что у него не оставалось места для иных побуждений. Он должен был постоянно бороться с враждебными силами природы. Борьба за жизнь целиком занимала его мысли и чувства, и в этой борьбе он должен был приобрести знание тех явлений природы, которые оказывали влияние на его жизнь и определяли его работу; чем лучше он узнавал их, тем более безопасной становилась его жизнь. Таким образом, астрономические явления вошли в жизнь первобытного человека как часть окружающей его среды, тесно связанной со всей его деятельностью. Наука началась не с абстрактного стремления к истине и знанию; она возникла как часть жизни, вызванная стихийным зарождением социальных потребностей[1].

Астрономическое явление смены дня и ночи регулирует жизнь человека и животных. Первобытные племена часто с большой точностью определяют время дня по высоте Солнца. Это необходимо им для того, чтобы регулировать дневную работу. Миссионеры сообщают, что в ясные дни аборигены сходятся на утренние собрания точно в назначенный час, тогда как в облачные дни они могут ошибиться. Европейские крестьяне могли делать то же самое, пока церковные и карманные часы не сделали это

излишним. В тех случаях, когда был необходим более точный метод, длина тени измерялась шагами.

Другое важное явление, определяющее человеческую деятельность — смена времен года. В высоких широтах это — чередование мертвой зимы и изобильного лета; вблизи экватора — сухих и дождливых сезонов. Первобытные охотники и рыболовы зависели от циклов жизни и миграции животных. Крестьяне и скотоводы регулировали свою работу — посев и жатву, кочевки со стадами, в зависимости от времен года. При этом они руководствовались своим опытом в определении сезонных изменений природы.

Внимание к небесным явлениям самим по себе стало необходимым тогда, когда труд принял более сложные формы и начали ощущаться новые потребности. Когда кочевники или рыбаки превратились в торговцев-путешественников, им понадобилось ориентироваться в пространстве *); для этой цели они использовали небесные тела: днем — Солнце, ночью — звезды. Таким образом пробудился их интерес к звездам. В самой ранней литературе арабов звезды уже имели особые названия. Полинезийцы и микронезийцы, которые были опытными моряками, при плавании по Тихому океану пользовались звездами для определения часа ночи; точки восхода и захода звезд служили небесным компасом, по которому они управляли ночью своими судами. В школах молодые люди изучали по небесным глобусам искусство астрономии. После установления контакта с европейцами, которые подавили полинезийцев физически и морально, эта автохтонная[2] наука была утрачена.

Вторым побудительным мотивом, приведшим к тщательному наблюдению небесных явлений, была потребность измерять интервалы времени. Старейшим практическим применением астрономии, помимо навигации, был счет времени, из которого позднее развилась наука. Периоды Солнца и Луны (т. е. год и месяц) являются естественными единицами счета времени, но иногда в качестве любопытных результатов более высокой ступени развития знаний появлялись и другие периоды — такие, как период Венеры у мексиканцев и период Юпитера у индийцев. Годичный период Солнца проявляется в сезонных изменениях, но период лунных фаз более заметен и вследствие своей краткости более практичен. Поэтому лунный календарь преобладал везде, за исключением тех мест, где климатические и сельскохозяйственные сезоны выступали особенно явно.

Кочевые народы регулируют свой календарь целиком по синодическому периоду в $29^1/_2$ дней, через который фазы Луны повторяются. Новый месяц в 29 или 30 дней начинается каждый раз, когда на западном вечернем небе в виде тонкой дуги появляется новая Луна; следовательно, часы суток начинаются с вечернего часа. Таким образом, Луна стала одним из наиболее важных объектов естественного окружения человека. Еврейский мидраш[3] говорит: «Луна была создана для счета дней». Древние книги различных народов сообщают, что Луна служит для измерения времени. Это и послужило основой для установления культа Луны, поклонения ей как живому существу, которое своим возрастанием и убыванием регулировало время. Первое ее появление, а еще более полнолуние, рассеивавшее темноту ночи, отмечалось как праздник и сопровождалось церемониями и жертвоприношениями.

*) Ориентироваться в пространстве и во времени необходимо было и кочевникам, и рыбакам. (*Прим. ред.*)

Результатом этого было не только поклонение, но также и более пристальное наблюдение, что проявилось в любопытном делении зодиака на 27 или 28 «лунных станций»[4]. Они представляли собой небольшие группы звезд, удаленные друг от друга приблизительно на 13°, так что Луна при своем движении по небесной сфере каждую следующую ночь оказывается в следующей группе. Они были известны арабам под именем *маназил* или *манзила*[5], индийцам как *накшатра* (т. е. «звезда») и китайцам как *сю* («ночлежный дом»). Так как лунные станции в этих трех случаях по большей части одинаковы, то предполагалось, что эти народы заимствовали их друг у друга. Что касается того, был ли какой-нибудь из трех народов оригинальным изобретателем, или же каждый получил их из месопотамского центра культуры,— здесь мнения исследователей разделились. Однако независимое происхождение в каждом отдельном случае не кажется невозможным, так как многие из этих лунных станций составляют естественные группы звезд, часто даже более естественные, чем двенадцать больших созвездий зодиака. Голова Овна, задняя часть Овна, Плеяды, Гиады с Альдебараном, рога Тельца, ноги Близнецов, сами Близнецы — Кастор и Поллукс, Рак, голова Льва с Регулом, задняя часть Льва с Денеболой,— все это известные группы. Однако существует также сходство менее естественных и очевидных групп, которое должно бы наводить на мысль об их заимствовании. Хорошо известно, что между Китаем и Индией существовал широкий культурный обмен; при раскопках в Синдхе (Индия) были обнаружены таблички с древними шумерскими текстами.

Таким образом, лунный период является самой древней календарной единицей. Но даже при чисто лунном счете такой важный период природы, как год, проявляется уже в самом факте существования двенадцати месяцев и двенадцати последовательных названий месяцев, указывающих на их сезонный характер:

месяц дождей, месяц молодых животных, месяц сева или жатвы. Постепенно развивается тенденция к более близкому согласованию лунного и солнечного счета.

Земледельческие народы по характеру своей работы тесно связаны с солнечным годом. Сама природа как бы навязывает его народам, живущим в высоких широтах. Эскимосы Лабрадора не имеют периодических названий для темного зимнего времени, когда прекращается работа на открытом воздухе, зато у них есть четырнадцать названий для остальной части года. Многие народы оставляют без названия месяцы, в которые сельскохозяйственные работы прекращаются; так, у римлян первоначально было только десять месяцев (названия от сентября до декабря означают месяцы от седьмого до десятого), а январь и февраль добавили позднее. Наш современный календарь, совершенно не связанный с лунными фазами, все еще сохраняет в своих двенадцати месяцах традицию древнего лунного счета.

Большинство земледельческих народов использует в своих календарях как месяц, так и год, особенно в близких к экватору странах, где времена года меньше отличаются друг от друга. Так, например, полинезийцы и африканские негры регулярно устраивают церемонии в полнолуние, однако их праздники урожая зависят от времени года. Они знают, сколько лун должно пройти между жатвой и посевом и какие месяцы подходят для сбора диких плодов и охоты.

Здесь, однако, возникает затруднение, потому что даты новолуния и полнолуния смещаются в солнечном году относительно календарных дат, так что фазы Луны не могут указать определенной сезонной даты.

Лучшее решение в этом случае дают звезды, движение которых уже было известно, поскольку их использовали для ориентировки в пространстве и во времени. Тщательное наблюдение показывает, что расположение звезд в один и тот же час ночи регулярно изменяется со временем года. Постепенно то же самое расположение звезд наступает раньше; самые западные звезды исчезают в вечерних сумерках, а на рассвете на восточном горизонте появляются новые звезды, восходя все раньше с каждым следующим месяцем. Это утреннее появление и вечернее исчезновение,— так называемые «гелиакический восход и заход», определяемые годичным движением Солнца по эклиптике — повторяются каждый год в одну и ту же дату. То же самое происходит с моментом, в который звезда восходит в вечерних сумерках (конец наблюдаемых восходов) или заходит перед самым рассветом,— так называемые «акронические» восход или заход. Аборигены Австралии знают, что весна начинается тогда, когда Плеяды восходят вечером. В проливе Торреса для определения времени сева

ведется тщательное наблюдение появления на рассвете яркой звезды, называемой Кек, вероятно, Канопуса или Ахернара. На острове Ява десять *мангсас* (месяцев) определяются по положению пояса Ориона; когда он невидим, работа на полях прекращается, а его утренний восход указывает на начало сельскохозяйственного года.

Звездные явления — не единственное средство для фиксирования дат солнечного года: может быть использовано также и само Солнце. Кинджин-даяки, живущие на Калимантане (Борнео) под $2^1/_2°$ северной широты, используют полуденную длину тени от вертикальной палки; первый месяц начинается с тени нулевой длины, второй и третий месяцы — с длины тени, равной $^1/_2$ и $^2/_3$ плеча. На реке Махáкам праздники начала сева определяются по заходу Солнца в точке горизонта, отмеченной двумя большими камнями. Жрецы индейского племени зуньи устанавливают самый длинный и самый короткий дни, отмечаемые множеством церемоний, по тщательному наблюдению самой северной и самой южной точек восхода Солнца; то же самое имеет место и у эскимосов в Гренландии, где из-за высоких широт этот метод более точен, чем где бы то ни было.

Необходимость разделять и регулировать время разными путями приводила различные первобытные народы и племена к наблюдению небесных тел и, следовательно, к началу астрономического знания. Мы можем быть уверены, и это подтверждается исторической традицией, что такое знание должно было развиваться и в доисторические времена. Из этих-то истоков на заре цивилизации и возникла наука, прежде всего среди народов наиболее древней культуры — на Востоке.

ГЛАВА 2

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И КАЛЕНДАРЬ

Из множества племен, живших в условиях варварства на плодородных равнинах Китая, Индии, Месопотамии и Египта, между 4000 и 1000 гг. до н. э. возникли большие государства. Они представляли собой более высокую ступень культуры, письменные документы которой дошли до нашего времени. Первоначально независимые крестьянские общины и городские самоуправления со своими старшинами и городскими правителями, со своими местными богами и формами богослужения слились в более крупные политические единицы. Необычайное плодородие аллювиального ила, приносившее богатые урожаи, обеспечивало жизнь особого класса правителей и должностных лиц. Этот класс возник вначале из-за необходимости централизованного распределения воды. Большие реки, орошающие эти равнины,— Нил, Евфрат, Хуанхэ — разливались в определенные месяцы и орошали или удобряли поля, или прокладывали время от времени новое русло. Вода должна была последовательно то направляться на поля, то задерживаться. Это осуществлялось при помощи дамб, углубления рек или проведения каналов. Такой контроль не мог быть предоставлен отдельным районам с их часто противоречивыми интересами. Было необходимо централизованное регулирование, так как только сильная центральная власть могла гарантировать, что местные интересы не будут превалировать над общими. Только в таком случае плодородие и процветание были обеспечены. Но когда страна распадалась на части в мелочных стычках княжеств, дамбы и каналы забрасывались; тогда почва пересыхала или затоплялась, и народ голодал: «гнев богов» поражал землю.

Сильная центральная власть была необходима, кроме того, и для защиты плодородных равнин от воинственных жителей примыкающих к ним гор или пустынь. На своей земле эти люди могли найти лишь скудные средства существования, поэтому они занимались грабежом и заставляли своих преуспевающих соседей платить им дань. Разделение задач было необходимо: каста воинов защищала тех, кто со своим вождем в качестве монарха составил правящий класс, контролирующий прибавочный продукт крестьян. Иногда оказавшиеся победителями кочевые соседи оседали затем среди крестьян как правящая аристократия, защищая их от других агрессоров. В любом случае конечным результатом была сильная централизованная государственная власть. Такой повторявшийся время от времени процесс и представляет собой вкратце очерк истории этих стран. Снова и снова варварские народы вторгались на территории более культурных стран и покоряли их, иногда оставаясь в виде тонкой высшей прослойки, как маньчжуры в Китае, монголы в Индии, гиксосы в Египте, а иногда смешиваясь со всем народом или заменяя прежних жителей, как арийцы в Индии и семиты в Месопотамии. Хотя во время этих нашествий и было разрушено много культурных памятников, однако потом завоеватели воспринимали и усваивали существующий в данной стране более высокий уровень цивилизации, которой они нередко придавали новое могущество. Утратив через несколько поколений свою дикую силу, завоеватели сами становились объектом нападения со стороны новых агрессоров.

В таких империях князь был законодателем, верховным судьей и главой правительства должностных лиц, которые как руководители гражданских ведомств образовали наряду с военными второй правящий класс. Обычно он состоял из жрецов, которые ранее были местными интеллектуальными вождями, а теперь организовались в служебную иерархию. Жречество держало в своих руках духовное руководство государством и обществом. Оно владело теоретическим и общим знанием, необходимым в процессе производства; это был источник их престижа и социальной власти. Там, где главным занятием было земледелие, знание календаря и времен года оставалось в их сфере действия. Религия, составлявшая в то время одно целое с государством и обществом, также была централизована; местные божества главных городов страны объединились в один пантеон под руководством верховного бога, тогда как местные боги менее крупных или побежденных городов низводились до уровня ду́хов или объединялись с другими богами. Так, например, богини Иннина, Нисаба и Нана были объединены в Древнем Вавилоне с более поздней Иштар. Тот факт, что Борсиппа стала пригородом быстро растущего города Вавилона, нашел свое теологическое выражение в том, что ее городской бог Набо стал сыном Мардука. Несмотря на то, что Эа, Ану и Энлиль (чаще называемый Бел, т. е. «господин») — божества старейших культурных центров — Эрду, Урука и Ниппура,— всегда оставались наиболее высоко почитаемыми, политическая гегемония Вавилона превратила после 2000 г. до н. э. своего местного бога Мардука в главного бога пантеона. Когда в последующие столетия высшего господства в Месопотамском мире достигла Ассирия, это место занял Ашшур. Объединяясь в иерархию, боги утрачивали некоторые из своих местных отличительных черт, а

их особенности как олицетворения сил природы становились более заметными. Бог Ура — Син и бог Сиппара — Шамаш позднее всегда почитались как бог Луны и бог Солнца.

Возвышение группы, которая как правящий класс не нуждалась больше в тяжелом труде для сохранения своей жизни, привело к новым условиям существования. Социальная структура стала более сложной, духовное руководство требовало более высоких качеств и предъявляло все бо́льшие требования к представителям правящего класса. Производство и торговля породили новые материальные и духовные потребности, и с богатством и роскошью монархов и вельмож пришел интерес к искусству и науке. Таким образом, вместе с появлением новых общественных формаций впервые возникли более высокие формы культуры, превосходящие культуру наиболее развитого доисторического варварства. Эра цивилизации началась.

Это вызвало и более высокое развитие астрономии, необходимость которого непосредственно вытекала из требований счета времени и особенно из проблемы приспособления лунного календаря к солнечному году.

Один период Луны равен в среднем 29, 53059 дня, солнечный год — 365,24220, т. е. он на 11 дней превосходит 12 лунных периодов, составляющих в сумме 354,3671 дня. За три года лунный календарь отстает от движения Солнца на 33 дня. Для того чтобы привести его в соответствие с Солнцем, необходимо каждый третий год, а иногда и чаще, добавлять лишний месяц так, чтобы год состоял из 13 месяцев вместо 12. Такая система носит название интеркаляции. Проблема календаря заключается в отыскании наиболее длительного периода, который являлся бы общим кратным месяца и года; в таком случае Солнце и Луна по истечении этого периода вернутся в прежнее положение относительно друг друга. Конечно, точное общее кратное не существует, но более или менее удовлетворительные приближения к нему можно найти. При современном точном знании солнечного и лунного периодов мы имеем возможность теоретически вывести календарные периоды с достаточным приближением. Представляя отношение солнечного периода к лунному в виде непрерывной дроби и выписывая ее последовательные приближения, находим $^{8}/_{99}$ и $^{19}/_{235}$. Первая дробь показывает, что 8 лет почти равны 99 месяцам (а именно: 2921,94 и 2923,53 дня), так что из этих 8 лет 3 года должны иметь по 13 месяцев, а 5 лет — по 12. И все же это — не очень хорошее приближение; спустя всего лишь 24 года лунная дата уже будет запаздывать на 5 дней относительно даты солнечного года. Значительно более точным является период в 19 лет, который содержит 235 месяцев (6939,60 и 6939,69 дня); тринадцатый месяц должен здесь вставляться 7 раз. Конечно, в самые отдаленные времена люди не знали периоды так точно; отыскание хорошего календарного периода было для них сложной практической задачей, которую приходилось решать посредством трудоемкой подгонки лунного счета к солнечному. Эта проблема играла, таким образом, роль движущей силы, способствовавшей более тщательному наблюдению небесных явлений.

Можно задать вопрос, для чего была необходима такая точность, если она намного превосходила потребности земледелия, зависящего от колебаний погоды и носящего поэтому нерегулярный характер. Однако следует иметь в виду, что в те времена сельскохозяйственные работы сопровождались религиозными церемониями. Боги принимали участие в жизни человека как представители господствующих сил природы и общества; то, что было необходимо обществу или отвечало его требованиям, становилось волей богов и строго закреплялось в обрядах. То, что происходило неизбежно в определенное время года, например, праздник урожая как религиозное торжество, закреплялось на определенной дате, например, на одной из фаз Луны. В богослужении не допускалось ни малейшей небрежности и требовалось точное соблюдение ритуала. Хронологической основой ритуала являлся календарь. Это сделало его объектом постоянного попечения со стороны специально назначавшихся должностных лиц, в особенности жрецов, и в то же время — источником их власти в обществе из-за того, что они монопольно владели знанием моментов, благоприятных для начала каких-либо дел.

До нас дошло несколько примеров того, как такие религиозно-сельскохозяйственные обычаи приводили к установлению лунно-солнечного календаря. Еврейский календарь, первоначально формировавшийся в пустыне, был связан с Луной, но когда евреи пришли в землю ханаанскую, главным их занятием стало земледелие, и календарь пришлось приспособить к Солнцу. *Машиах* был весенним праздником урожая; в это время приносился в жертву первый сноп ячменя и из первого зерна выпекался пресный хлеб. Этот праздник слился с праздником кочевников — *песах'ом* — жертвоприношением Иегове новорожденных ягнят в весеннее полнолуние. Он назначался на полнолуние первого месяца — нисана. О том, как это осуществлялось, мы читаем в большом руководстве Гинцеля по хронологии. «К концу последнего месяца жрецы проверяли состояние урожая на полях, чтобы посмотреть, можно ли надеяться на то, что ячмень созреет в следующие две недели. Если они видели, что этого можно ожидать, то *машиах-песах* назначался на месяц, начинающийся со следующего новолуния; но если созревания нельзя было ожидать, праздничный месяц откладывался на один лунный период. Это определяло и другие праздничные дни» [1].

Израильтяне пользовались таким эмпирическим методом до тех пор, пока жили все вместе в Палестине. Когда же позднее они рассеялись по разным странам, этот метод больше не применялся; но к тому времени астрономия настолько развилась, что они могли воспринять знание календарных периодов у своих соседей. Тогда основой еврейского календаря стал период в 19 лет с фиксированной сменой 12 лет по 12 месяцев и 7 лет по 13 месяцев.

Другой пример представляют события в домусульманской Аравии. В священные месяцы исполнение кровной мести приостанавливалось, и караваны могли безопасно продвигаться, потому что это было необходимо для экономической жизни. Бесконечная борьба между племенами была совершенно естественной, и кровная месть как примитивная юридическая форма солидарности между членами племени была необходима, но ее беспредельный размах делал невозможной торговлю и заготовку продуктов питания. Ал-Масуди говорит: «Месяц сафар ведет свое название от рынка в Йемене... Здесь арабы покупали зерно, а кто не делал этого, тот должен был умирать от голода»[2]. Священный месяц был месяцем рынков; караваны собирались к большим рыночным городам, особенно к Мекке, знаменитой своим прохладным источником, называемым *зем-зем*, привлекавшим путешественников в этот центр паломничества в Аравии. Здесь племена встречались и обменивались мнениями, а место собраний стало политическим и религиозным центром и столицей.

Таким образом, было очень важно, чтобы этот священный месяц всегда приходился на одно и то же время года, когда собирали урожай всех продуктов и торговцы получали их в свое распоряжение. Более поздний мусульманский ученый ал-Бируни пишет: «Во времена язычников арабы имели дело с такими же месяцами, как теперь мусульмане, и их паломничество распространялось на все 4 времени года. Затем, однако, они решили закрепить свое паломничество за тем временем, когда их товары — кожи и плоды — были готовы для торговли; они попытались сделать его неподвижным так, чтобы он всегда приходился на самое изобильное время года. Так они узнали от евреев систему интеркаляций за 200 лет до хиджры[3]. И применяли они ее так же, как евреи, добавляя к обычным месяцам разность между своим и солнечным годом тогда, когда она возрастала до месяца. Тогда к концу церемонии паломничества *калламы*[4] (шейхи особого племени, которым поручалась эта задача) выходили вперед, обращались к народу и объявляли о дополнительном месяце, давая следующему месяцу название предыдущего. Народ одобрением выражал свое согласие с решением *калламов*. Эту процедуру они называли *наси*, т. е. отступление, потому что каждый второй или третий год начало года отступало... Об этом они могли судить по восходу и заходу *маназил*. Это напоминало им о бегстве пророка из Мекки в Медину»[5].

В девятый год хиджры Мухаммед запретил интеркаляции, возможно, для того, чтобы уничтожением функции *калламов* сломить их духовную власть и, кроме того, более резко отделиться от евреев. Таким образом, современный мусульманский календарь основан на лунных годах в 354 дня, состоящих из 12 лунных месяцев, которые за 33 года обходят все сезоны. Здесь мы имеем календарь, который был лишен формальным предписанием своей важной общественной функции и превратился в окаменевшую религиозную традицию, соответствующую образу жизни первобытных бедуинов.

Это может служить примером того, насколько различными путями развивались календарь и астрономия у разных народов вследствие различия экономических условий и политической истории.

ГЛАВА 3

ЗНАНИЯ О НЕБЕ В ДРЕВНЕМ ВАВИЛОНЕ

В самые отдаленные времена, о которых дошли до нас сведения, земля Шипар [1], включавшая в себя долины между Евфратом и Тигром, была населена двумя разными народами с весьма различными языками, внешним обликом и обычаями: северная часть — Аккад — семитической расой, а южная часть — шумерами. Шумеры были местными жителями или первыми иммигрантами, тогда как семиты иммигрировали позднее во все возрастающем количестве из западных пустынь. Язык шумеров указывает на родство не с семитическими или индо-европейскими языками, а скорее с туранскими; во всяком случае, расовая принадлежность этого народа древнейшей культуры неизвестна. В столетия, следующие за 3000 г. до н. э., большие шумерские города на юге (Эриду на море, Ур на границе с пустыней, Урук, Лагаш, Ниппур, Ларса) продемонстрировали образцы наивысшей культуры, причем гегемония принадлежала обычно одному из этих городов. В северных городах (Агаде, Сиппаре, Борсиппе, Вавилоне) эту культуру восприняли семиты, которые после следующей иммиграции постепенно стали доминирующей расой. Когда около 2500 г. до н. э. [2] всей Месопотамией правил Саргон из Агаде, а затем его сын Нарамсин, военные силы страны состояли из семитов, тогда как писцами и гражданскими должностными лицами были шумеры. В следующие столетия господствующее положение вернулось к югу, где правители Лагаша и Ура называли себя «царями Шумера и Аккада». После 2000 г. до н. э., благодаря иммиграции аморитских племен с запада, семиты достигли определенного преобладания. Тогда в период правления той династии, из которой наиболее хорошо известен Хаммурапи, город Вавилон стал столицей обширной империи и центром торговли и культуры.

Шумеры были изобретателями клинообразного письма, в котором для выражения каждого звука, состоявшего из гласной и одной или двух согласных, использовался особый знак. Эти знаки (составлявшиеся из отпечатков, широких с одной стороны и узких — с другой) при помощи стилуса — металлической палочки [3] — наносились на мягкую глиняную пластинку, которая затем подвергалась обжигу. Передача слогов посредством особых знаков

полностью соответствовала такому агглютинативному языку как шумерский, в котором отдельные слова и корни просто смыкались. Семиты восприняли эту клинопись, хотя она была несколько неудобна для их языка, с его флексией корней. Когда Вавилон стал культурным центром всего Ближнего Востока, его язык и клинопись вошли в употребление в качестве международного языка, признававшегося даже в Египте и Малой Азии.

Дешифровка клинописи и языков, на которых она написана, была одним из важных достижений XIX в.; она пролила свет на совершенно забытый период истории и культуры. Ранее имевшиеся искаженные и анекдотические сведения, почерпнутые главным образом из греческих источников, не шли дальше 700 г. до н. э. Когда Анри Лейярд, под впечатлением от первых раскопок французского консула Ботта́, в 1846 г. начал раскопки на месте Древней Ниневии, он обнаружил удивительные скульптуры, барельефы охотничьих сцен, крылатых быков и драконов. Он был поражен обилием лежавших вокруг черепков с клинообразными надписями и, заподозрив их ценность, послал в Британский музей вместе с произведениями искусства несколько ящиков этих черепков. Важность их была оценена лишь тогда, когда Джордж Смит расшифровал несколько текстов, содержавших рассказ о потопе. После этого были отправлены специальные экспедиции для того, чтобы собрать как можно больше таких текстов. Удалось доказать, что они являются остатками «библиотеки» царя Ашшурбанипала и состоят как из новых записей, так и из копий текстов более ранних столетий, а также из словарей и лексикографических материалов. Эти исследования дали сильный толчок к изучению древней месопотамской культуры (с тех пор эта наука называется «ассириология»). Прежде всего ассириологов затрудняла смесь двух совершенно различных языков; обычно каждый знак использовался как звук, переносившийся из шумерского языка в семитический в качестве слога; но часто он применялся и как так называемая «идеограмма», т. е. знак для предмета или понятия по его значению в шумерском языке. Таким образом постепенно были расшифрованы одновременно два языка. Литературные фрагменты, дополненные текстами, извлеченными из руин других древних городов, дали нам более ясное представление о культуре и истории этой отдаленной эпохи.

Была обнаружена также и неизвестная ранее древняя астрономия. В этом заново открытом мире небесным телам придавалось гораздо большее значение, чем в любой другой стране или в любую иную эпоху. Восстановить все эти забытые знания на основании небольших отрывочных фрагментов было, безусловно, трудно. Только пройдя через неопределенные предположения, внезапные догадки, ложные интерпретации и несостоятельные теории, по-

степенно удалось приблизиться к истине. В течение многих лет большой известностью пользовалась теория Гуго Винклера — так называемый «панвавилонизм». Ссылаясь на то, что вавилоняне в совершенстве знали небесные периоды и изменения вида созвездий из-за прецессии, эта теория утверждала, что астрономическая наука в Вавилоне была высоко развита уже в самые отдаленные времена — между 3000 и 2000 гг. до н. э. Объяснялось даже и то, как это первобытное представление о мире, приобретая характер «астральной мифологии», утверждавшей существование тесной связи между земными и небесными явлениями, стало источником всех более поздних восточных и греческих систем мышления и как оно определило легенды, знания и обычаи вплоть до настоящего времени даже в отдаленных частях Европы. Несостоятельность этой заманчивой, но весьма фантастической теории была доказана позднее, после тщательного изучения текстов. Наши современные знания о вавилонской астрономии базируются главным образом на работе трех иезуитских ученых — ассириолога И. Н. Штрассмайера и астрономов И. Эппинга и Ф. Кс. Куглера.

Эра первого вавилонского царства явилась кульминацией экономического и политического могущества и культурной жизни. Торговля и ремесла процветали; наиболее важный торговый город Вавилон был не только метрополией обширной месопотамской империи, но и культурным центром всей Передней Азии. Здесь получили завершение достижения предшествующих столетий шумерской культуры, и система теологии приняла форму, сохранившуюся в последующий период. Уклад гражданской жизни нам хорошо известен по высеченному на камне знаменитому «кодексу Хаммурапи», который был обнаружен в XIX в. при раскопках в Сузах. Среди извлеченных при раскопках глиняных табличек мы находим многочисленные гражданские договоры о покупке и продаже земли, а также процентные займы, договоры об арендной плате и плате за службу, которые сдавались в храмы и хранились там как в нотариальных конторах. Благодаря им мы составили нечто вроде календаря со списком имен и дат правления царей, который служит хронологической основой истории.

Среди шумерских названий двенадцати месяцев, использовавшихся при царе Ура — Дунги (они были различны в разных местах), мы находим название для четвертого месяца, составленное из идеограмм для зерна и руки; название одиннадцатого месяца — из идеограмм для хлеба и срезания; название для двенадцатого месяца — из идеограмм для хлеба и дома; следовательно, сезон указан ясно. Так мы можем понять, почему именно одиннадцатый месяц повторяется здесь при интеркаляции. После возвышения Вавилона стали использоваться семитические названия: нисанну, аиру, симанну, дузу, абу, улулу, ташриту, арахсамна, кислиму, тебиту, сабату, адару [4]. В астрономических текстах они указаны едиными знаками, представляющими собой первые слоги их прежних шумерских названий.

В древневавилонском царстве вставным месяцем был второй адару в конце года. Недостатки в регулярности этих интеркаляций, проявлявшиеся и в датах гражданских контрактов, показывают, что они проводились эмпирически, в соответствии с созреванием посевов, или тогда, когда это оказывалось необходимым; бывали даже два последовательных года с тринадцатью месяцами, если календарь слишком уклонялся от нормы. Несколько раз, очевидно, в тех случаях, когда отклонение необходимо было исправить быстрее, удваивался шестой месяц. Существует документ, читающийся так: «Итак, Хаммурапи говорит: „Так как год не хорош, то следующий месяц должен быть отмечен как второй улулу. Вместо внесения десятин Вавилону 25 ташриту их следует внести 25 улулу второго"» [5]. Доставка продуктов питания для двора, конечно, не могла быть отложена на месяц.

Для календаря было необходимо наблюдение некоторых небесных явлений. Чтобы точно фиксировать первый день месяца, требовалось заметить новую Луну в момент ее первого появления. Это было не так уж трудно; в том удивительно теплом климате (за исключением нескольких зимних месяцев и случайных песчаных бурь), с хорошей видимостью на широких равнинах от горизонта до горизонта, жрецы-астрономы со своих ступенчатых башен легко могли отметить первый тонкий серп Луны на вечернем небе. Для церемониальных целей они должны были уделять внимание также и полнолунию и наблюдать, с целью его предсказания, последнее утреннее появление серпа к концу месяца. Можно ли представить себе, что при этом они не замечали звезд, которые безмолвно вычерчивали свои пути и продвигались вперед с каждым следующим месяцем? Трудно представить также и то, что их не поражали яркие планеты, случайно оказывавшиеся среди звезд, и больше всего — несравненная вечерняя звезда. Существует несколько текстов, в которых говорится об этом; из них видно, что несмотря на столь ясное небо, ум древних вавилонян не был всецело занят звездами, как часто предполагалось. Однако в высшей степени вероятно (это подтверждается и некоторыми текстами), что систематическое наблюдение Луны должно было постепенно привести к возрастанию практического интереса к звездам.

Первое явление, выступающее при наблюдении молодой Луны — регулярное перемещение созвездий и их изменение в течение года. Звезды, видимые на западном вечернем небе, характерны для данного сезона; следовательно, по ним можно исправлять календарь и систему интеркаляций. Это применимо также к первому появлению звезд на восточном утреннем небе. Интеркаляция

на основе регулярного гелиакического восхода и захода звезд должна была, таким образом, постепенно заменить беспорядочный эмпирический метод наблюдений за посевами. Положительное указание может быть найдено в списке (ассирийской копии с более раннего оригинала неизвестного столетия) тридцати шести названий звезд или созвездий, по 3 для каждого месяца, из которых каждое первое название, очевидно, относится к гелиакическому восходу в этом месяце. Для месяца нисанну мы находим *Дилган* (т. е. Овен и Кит); для аиру — первое название — *Мул-мул* (Плеяды; *мул* — означает «звезда»); для симанну это — *Сиб-зианну* (Орион) и т. д. Кроме того, существует другой, сильно поврежденный текст, который сообщает: «Звезда Дилган появляется в месяце нисанну; когда звезда отсутствует, месяц должен... звезда Мулмул появляется в месяце аиру...» [6]. Таким образом, появление или запаздывание звезды служило указанием для выполнения определенных действий.

Великое эпическое творение времен первой вавилонской империи рассказывает, как Мардук, местный бог Вавилона, завоевал первенство среди богов, победив чудовище Тиамат (хаос), и как из частей его тела он создал небо и землю [7]:

«Он твердый год установил и предписал
Его на месяцы делить.
Двенадцать месяцев назначил он в году.
Им три звезды придал,
Чтобы они сезонов смену представляли.
Луне он повелел светить,
Чтоб ночь слепую освещать
И, будучи ночным светилом,
Чтоб дней число определять».

Таким образом, мы видим, что многие звезды и созвездия были уже известны и получили названия. Это не означает, что 12 созвездий зодиака были первыми известными созвездиями или занимали особое место. Некоторым доказательством этого может, вероятно, служить тот факт, что эпическая поэма о Гильгамеше, состоящая из 12 песен, каждая из которых соответствует определенному знаку зодиака, имеет многие черты солнечного мифа. Но такое деление могло принадлежать и более поздней версии. Планеты, кажется, там не играли роли, календарь был связан только с неподвижными звездами.

Это знание звезд сохранялось и в последующий период наступившего политического упадка, когда Вавилон был покорен восточными завоевателями — касситами, а западные страны превратились в поле битвы, где египтяне сражались против экспансии хеттов. Сведения об этом времени получены на основании изучения межевых камней (*кудурру*). Обычно эти пограничные знаки отдавались под покровительство богов, изображения которых на

них высекались. Наряду с фигурами, изображающими Солнце, Луну и, вероятно, Венеру, мы находим здесь и другие рисунки, по-видимому, представляющие созвездия: бык, колос пшеницы, собака, змея, скорпион, козел с рыбьим хвостом (так позднее изображалось созвездие Козерога). При раскопках в Богазкёе, на месте столицы хеттов в Малой Азии, были обнаружены кирпичи с надписями, призывающими вавилонские божества; в этом перечне — множество названий звезд и видимых в тех широтах созвездий, например Плеяды, Альдебаран, Орион, Сириус, Фомальгаут, Орел, Рыбы, Скорпион. Знак для Скорпиона — *гир-таб* [8] — состоит из двух идеограмм, обозначающих жало и клешню, с жалом, представленным парой ярких звезд λ и υ Скорпиона как раз так, как впоследствии он изображался греками, заимствовавшими это созвездие у вавилонян. В соответствии с довольно спорным текстом из Ниппура расстояния от жала Скорпиона и от его головы до Арктура, выраженные в шестидесятых долях, относятся как 9 : 7. Это, казалось бы, подразумевало, что в то время расстояния на небе измерялись с определенной точностью. Когда же из других табличек были добавлены по аналогии отношения и для других звезд: 9 : 11 : 14 : 17 : 19, то оказалось, что это — простой математический текст, в котором звезды были включены в качестве готовых примеров. Предположение некоторых ассириологов о том, что здесь имелись в виду линейные расстояния в пространстве, не согласуется с известными нам вавилонскими представлениями о мире.

Существует и иной, истинно астрономический документ, который, как мы можем сказать определенно, относится к первой вавилонской династии. Этот текст из библиотеки Ашшурбанипала, с данными относительно планеты Венеры, является копией с более ранних текстов; он в настоящее время хранится в Британском музее. В 1911 г. Куглер добился успеха в дешифровке его содержания. Одна часть текста состоит из множества групп линий, изображающих различные явления планеты (называемой здесь *Нин-дар-анна* — «госпожа небес») как астрологические предзнаменования, сопровождающиеся соответствующими предсказаниями. Они не могут быть наблюдениями или астрономическими вычислениями, потому что всегда повторяются одни и те же интервалы времени, а воображаемые даты начала явления, регулярно изменяясь между утренними и вечерними явлениями, всегда приходятся на один и тот же день и месяц. Например, пятая группа идеограмм читается так:

«В месяц абу на шестой день Нин-дар-анна появляется на востоке; на небесах будут дожди, на земле — опустошения. До первого дня нисанну она стоит на востоке; в одиннадцатый день она исчезает. Три месяца она отсутствует на небесах, на одиннадцатый день дузу Нин-дар-анна вспыхивает на западе. В стране будут военные действия; урожай будет богатый.

В месяц улулу на седьмой день Нин-дар-анна появляется на западе...» [9].

Промежутки времени между восточным появлением и исчезновением всегда составляют 8 месяцев и 5 дней; затем проходит 3 месяца до западного появления, снова 8 месяцев и 5 дней до исчезновения, затем 7 дней до появления на востоке. В целом — 19 месяцев и 17 дней, что составляет правильный период Венеры. Эти интервалы времени и даты появления и исчезновения были выведены из наблюдательных данных, содержащихся в остальной части текста, но среди этих данных встречается много ошибочных, неверно скопированных идеограмм, которые использовались для вывода средних значений, применявшихся при составлении схематических предсказаний. Ошибка, допущенная при переписке, удлинила период невидимости (после восточного исчезновения, которое обычно длится около двух месяцев) до 5 месяцев и 16 дней, и средний период стал равным 3 месяцам. Это показывает, что человек, который впоследствии держал в руках материал для объявления предзнаменований, имел слишком незначительные астрономические познания или обращал на это дело так мало внимания, что использовал для вывода среднего значения грубо отклоняющиеся от него величины. Так как мы знаем значение цифр, то некоторые из ошибок в этих наблюдениях, охватывающих 21 год, могут быть исправлены.

Среди явлений Венеры, оказавшихся не на месте, найдена в восьмом году строчка, читающаяся как «год золотого трона». То же самое обозначение было найдено в текстах гражданских договоров восьмого года эры царя Аммизадуга, предпоследнего царя династии, который правил в течение 21 года. Итак, очевидно, можно было заключить, что 21 год из текста Венеры точно соответствовал 21 году правления этого царя. Это подтверждается тем фактом, что и годы из 13 месяцев в тексте Венеры соответствуют таким же годам в гражданских текстах. Так как явления Венеры для того времени могут быть точно вычислены на основании современных данных, то появилась возможность удостовериться в точности дат правления этого царя, что позволило обосновать хронологию периода, близкого ко второму тысячелетию до н. э. Метод Куглера базировался на утверждении о том, что в шестом году, на двадцать шестой день месяца арахсамма Венера исчезла на западе и на третий день следующего месяца кислиму вновь появилась на востоке. Следовательно, ее соединение с Солнцем в период года, грубо соответствующий декабрю или январю, почти точно совпало с соединением Луны с Солнцем. Он нашел, что лучше всего эти условия выполнялись 23 января 1971 г. до н. э. Отсюда следовало, что первая вавилонская династия правила с 2225 г. по 1926 г. до н. э. и что Хаммурапи правил с 2123 по 2081 г. до н. э. Таким образом, дата 1 нисанну в среднем соответствует 26 апреля по нашему календарю. Такое точное отождествление столь древних дат

обычно рассматривалось как удивительный пример астрономо-хронологических исследований, но интересно, что первый результат был целиком ошибочен. Существует несколько дат, соответствующих этой. Соединения Венеры с Солнцем происходят каждые 8 лет, наступая с каждым следующим разом всего на 2,4 дня раньше; соединения Луны с Солнцем наступают также через 8 лет, запаздывая с каждым следующим разом на 1,6 дня. Следовательно, обе даты через 8 лет могут удовлетворительно совпасть, после чего явления соединений начинают расходиться все сильнее, причем соединения Венеры наступают раньше, а соединения Луны — позже. После семи периодов по 8 лет соединения Венеры наступают на 17 дней раньше, а соединения Луны — на 11 дней позже, так что совпадение соединений наступает снова, но теперь на $29^1/_2$ дней раньше. Таким образом, мы находим ряды дат (или пары дат через 8 лет), следующие друг за другом с интервалами в 56 лет или в 64 года, и астроном целиком зависит от историка в указании правильного столетия. Когда Куглер проводил свои исследования, историки относили первую вавилонскую династию примерно ко второму тысячелетию до н. э.; другие исследователи, пытавшиеся исправить работу Куглера, не отваживались отодвигать события дальше, чем на 120 лет. Кроме того, была известна старая хроника царей Бероса (вавилонского жреца, преподававшего в Греции), относившая династию на 4 столетия позднее. Это вызывало постоянные возражения со стороны историков, однако позднее они изменили свое мнение. Так, теперь считается наиболее вероятным, что дата совпадения соединений была 25 декабря 1641 г. до н. э.; что Хаммурапи правил с 1792 по 1750 г. до н. э. и что вся династия правила с 1894 по 1595 г. до н. э., или, возможно, на 64 года позднее, так как в исторических документах остаются некоторые неопределенности.

Однако может оказаться, что планета Венера тщательно наблюдалась уже в первые века вавилонского могущества, а, возможно, даже и ранее. Если бы так же наблюдались и другие планеты, упоминания о них, несомненно, сохранились бы в ассирийских копиях. Однако упоминается только Венера. Совершенно ясно, что жрецы, наблюдавшие серп Луны, обратили внимание на эту самую яркую звезду и что она должна была показаться им исключительно ярким объектом. В поздних текстах Солнце, Луна и Венера часто называются вместе, как триада родственных божеств, в отличие от других четырех планет. Может ли быть, чтобы вавилоняне знали о серпе Венеры в период ее большой яркости до или после нижнего соединения? Существует текст, смысл которого остается спорным. Некоторые ассириологи читают его следующим образом: «Когда Иштар со своим рогом с правой руки приближается к звезде, в стране будет изобилие. Когда Иштар со

своим рогом с левой руки приближается к звезде, стране будет плохо»[10]. Не исключена возможность, что при необыкновенно прозрачной атмосфере этих стран рога серпа Венеры были замечены; современные наблюдатели также упоминают подобные примеры. Американский миссионер Д. Т. Штоддарт в письме к Джону Гершелю из Ороомиша (в Персии) писал в 1852 г., что спутники Юпитера и удлиненную форму Сатурна можно было наблюдать в сумерках невооруженным глазом и что через темное стекло сразу же бросалась в глаза полулунная форма Венеры[11]. Это позволяет понять, почему в те древние времена вавилонские жрецы-астрономы уделяли особое внимание Иштар как звезде — сестре Луны. В интересах религии они следили не только за ее появлениями и исчезновениями, но заметили также их регулярность и пытались, хотя и примитивным способом, найти величину этих периодов и использовать их для предсказаний. Однако это могло быть осуществлено только в более поздний период, например, между 1500 и 1000 гг. до н. э.

ГЛАВА 4

АССИРИЙСКАЯ АСТРОЛОГИЯ

В начале первого тысячелетия до н. э., на севере, в верхнем течении Тигра, возникла новая семитическая держава. Название столицы верховного бога было — Ашшур. В непрестанной борьбе с окружающими государствами Ашшур расширился и стал правящей в Месопотамской долине державой. Около 800 г. до н. э. Ассирия превратилась в самое могущественное государство Передней Азии. При царях Тиглатпаласаре (745—727 гг. до н. э.), Шалманасаре (726—722 гг. до н. э.), Саргоне (722—705 гг. до н. э.), Синахерибе (705—682 гг. до н. э.), Асархаддоне (682—668 гг. до н. э.) и Ашшурбанипале (668—626 гг. до н. э.)[1] в результате продолжительных и жестоких войн были завоеваны Сирия, Палестина, Финикия, а на время даже Египет, и границы Ассирии расширились до Малой Азии, Армении и Мидии. По мнению американского ассириолога Олмстеда, успех ассирийских завоеваний объяснялся главным образом использованием ими железа для изготовления оружия. Политическим центром обширной военной империи стала новая столица — Ниневия, которую начали украшать и застраивать великолепными зданиями. Однако Вавилон как крупный и богатый торговый центр, зажиточные граждане которого пользовались широким самоуправлением, еще сохранял свое выдающееся значение как колыбель древней культуры. Ассирийские цари также признавали его важность, периодически отправляясь в Вавилон «для того, чтобы припасть к рукам Мардука», т. е. торжественно принять управление или выдвинуть на должность зависимого царя кандидатуру своего родственника.

Ассирийцы восприняли культуру покоренных ими вавилонян, как это часто делают грубые и воинственные завоеватели, и развили дальше ее формы и традиции. Ассирийский пантеон был идентичен вавилонскому, за исключением того, что теперь новым «богом богов» стал Ашшур. То же самое жречество мыслило, работало и писало в освященных древностью формах, но теперь на службе у новых правителей, выполняя ту же самую социальную функцию, что и раньше. Пластические искусства расцвели заново не только потому, что ремесленники были новыми людьми со свежей энергией, а новые правители обогатились за счет завоеваний

и грабежа, но также и потому, что вместо кирпичей, употреблявшихся жителями низин, строительным материалом стал камень из окрестных гор,— отличный материал для прекрасных рельефов, украшающих теперь западные музеи. Это развитие достигло вершины тогда, когда с возрастанием богатства и культуры за первыми отважными воинами последовали правители, которые любили искусства и науки и покровительствовали им. Именно тогда Ашшурбанипал устроил в своем дворце библиотеку и приказал собрать и скопировать старые тексты изо всех древних городов и храмов Вавилонии. Тысячи глиняных табличек были сложены аккуратными рядами, с заглавиями по сторонам, дополнены и разъяснены каталогами, словарями и комментариями. Они постоянно пополнялись новыми архивными сообщениями, докладами царю и его перепиской с должностными лицами. Хорошее представление об обычаях и идеях, деловой жизни и культуре, религии и экономике, а также и об астрономии этого общества дают нам более 13 000 фрагментов, обнаруженных при раскопках только на этом месте и хранящихся теперь в Британском музее, а также многие тысячи фрагментов из других мест.

Во многих местах все еще встречается календарь прежних времен: лунный месяц, начинающийся вечером с момента первого появления серпа, и 12 месяцев, время от времени дополняемых тринадцатым. Хотя это специально не отмечено, почти не подлежит сомнению, что интеркаляция регулировалась при помощи звездных явлений, обычно по утреннему восходу звезд. Указанием на это может служить вышеупомянутый список 3×12 ежемесячных звезд, найденный в копии из библиотеки Ашшурбанипала[2]. Другой метод интеркаляции указан в тексте, опубликованном Джорджем Смитом: «Когда в первый день нисанну Луна и звезда мулмул (Плеяды) стоят вместе, год — обычный, когда на третий день нисанну Луна и звезда мулмул стоят вместе — год полный»[3]. Последняя часть предложения означает, что Плеяды длительное время видны после захода Солнца, а так как это бывает самой ранней весной, то необходимо прибавлять тринадцатый месяц.

В текстах этого времени встречаются уже изображения многих созвездий. Они разделялись на три группы: северную, среднюю и южную, которые считались владениями Энлиля, Ану и Эа. Такое деление связывалось главным образом с составлением предсказаний. Наиболее часто встречаются в вавилонских текстах изображения знаков зодиака с находящимися в них планетами.

В период ассирийского владычества регулирование календаря уже не было, как раньше, главной целью наблюдения звезд. В качестве господствующего миропонимания выступила астрология, т. е. представление о влиянии движений звезд на происходящие

на Земле события. Теперь стали с особым вниманием следить за всеми небесными явлениями, чтобы использовать их для предсказания судеб людей, а в особенности монархов и их государств.

Вера в предзнаменования так же стара, как всякая вера первобытного человека в существование окружающих его невидимых могущественных дýхов, которые влияют на всю его деятельность. Завоевать расположение и помощь этих духов, смягчить или отвратить их гнев и раскрыть их намерения — было для первобытного человека вопросом жизни и смерти. Заклинания, жертвоприношения, колдовство, чары и магия — были тесно связаны с повседневной его жизнью и деятельностью. Дýхи и боги обитали на небе, в том пространстве, куда поднимался дым жертвоприношений. Кроме того, такое сияющее небо, как в Двуречье, невольно привлекало к себе внимание. Так, уже в древнейшие времена в умах жрецов возникло представление о тесной связи между движением звезд и земными событиями. Небо было не так уже далеко; земные правители и их народ были близки к пребывавшим там богам. Царь Лагаша Гудеа (около 2500 г. до н. э.)[4], в надписи на цилиндрическом камне сообщает о строительстве храма и рассказывает, как во сне ему явилась богиня Нисаба, дочь Эа. «Она держала в руке светящийся стилус; она несла табличку с благоприятными небесными знаками и была задумчива». И дальше: «Она известила о благоприятной звезде для постройки храма»[5]. В тексте Нин-дар-анна, относящемся к первой вавилонской империи, после каждого планетного явления было найдено предзнаменование. Можно не сомневаться в том, что астрономические наблюдения проводились специально для составления этих предсказаний.

Такие верования жили среди храмовых жрецов Вавилона и других городов и распространились на все области, находившиеся под влиянием вавилонской культуры, в том числе и на Ассирию.

При дворах могущественных монархов, которые, стремясь расширить свои владения, вели непрерывные войны, астрология находила благосклонный прием и хороший рынок сбыта для своих предсказаний. Придворные астрологи должны были давать предзнаменования для каждого важного предприятия. Кроме того, все значительные храмы регулярно посылали царю отчеты о том, что произошло на небе, со своим толкованием наблюдавшихся явлений. Библиотека Ашшурбанипала служила своеобразным архивом, в котором сохранялись эти отчеты; для более полного их истолкования здесь собирались и копии всех старых данных. Разумеется, не все предзнаменования составлялись по наблюдениям звезд. Их ухитрялись разыскивать повсюду — по внутренностям

приносимых в жертву животных — изменчивому, а следовательно, благодарному в отношении предзнаменований объекту; по полету птиц; по выкидышам, землетрясениям, облакам, грозе и цвету неба, по гало́ и радуге. Существовали даже специальные руководства, содержавшие перечень всех явлений, при которых легендарный царь Агада Саргон добился успеха в своих делах или потерпел неудачу.

Наиболее подходящими для составления предсказаний считались астрономические явления благодаря своему чрезвычайному разнообразию и изменчивости. Поэтому первое место среди небесных тел занимали не Солнце, а Луна и планеты, для которых неподвижные звезды служили только фоном. Бог Солнца Шамаш, всевидящий страж справедливости, изо дня в день совершал свой неизменный путь по небу. Он мог только сделаться более тусклым или красным, а также стать невидимым из-за облаков или затмения. Бог Луны — Син, напротив, представлял множество различных, постоянно повторяющихся явлений. То же было справедливо и для планет, блуждавших среди звезд самым непонятным образом, то останавливаясь или возвращаясь назад в своем движении, то образуя друг с другом или с яркими звездами постоянно изменяющиеся конфигурации. Они казались как бы живыми существами, произвольно странствующими по звездному ландшафту, и постепенно стали главным объектом, привлекавшим внимание вавилонских жрецов. Они были звездами великих богов, которые управляли миром и появлялись в виде ярких светил. Определительный знак, предшествовавший названиям планет, первоначально употреблявшийся для их обозначения, затем стал чаще использоваться для обозначения бога. Так, Венера (называемая Дил-бат) была звездой Иштар. Юпитер (Уманпа-удда, позже в основном Сагмегар) — звездой Мардука; [Меркурий (Гуд-уд) — звездой Набо]; Сатурн — звездой Ниниб, также солнечного божества, а Марс — звездой Нергала — бога чумы [6]. Красный Марс считался несчастливой звездой, Юпитер — счастливой. Но для кого счастливой или несчастливой — это зависело от места и времени.

Каждой из четырех стран: Аккада (Вавилония), Элама (восточные горы), Амурру (западная пустыня, впоследствии Сирия) и Субарту (север) соответствовали определенные месяцы, страны света и созвездия. «Мы — Субарту», говорил астролог из Ниневии. Появление планет в различных созвездиях, продолжительность их стояния или быстрое движение, их встреча друг с другом или с Луной — представляли буквально бесконечное разнообразие явлений, оставляющих астрологам широкий простор для собственных толкований, в которых находили место как ум и изворотливость, реальность и фантазия, так и осторожная лесть.

В качестве примера можно привести несколько текстов из коллекции, опубликованной Р. К. Томпсоном для студентов-ассириологов *).

«Если звезда Мардука появится в начале года, в этом году урожай будет богатым. Меркурий появился в нисанну. Если планета (Меркурий) приблизится к звезде Ли (Альдебарану), царь Элама умрет... Меркурий появился в Тельце; он спустился вниз (?) до Шуги (Плеяд, Персея)» (стр. 184).

«Венера исчезает на западе. Если Венера станет слабой и исчезнет в месяц абу, в Эламе будет кровопролитие. Если Венера появится в абу с первого по тридцатый день, будет дождь и урожай земли будет богатым. В середине месяца Венера появилась во Льве, на востоке. Из Нергал-итира» (стр. 208).

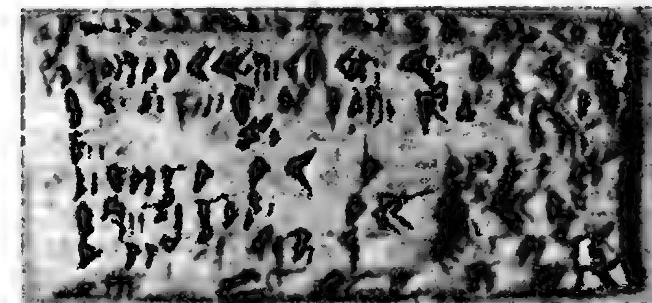


Рис. 1. Ассирийская табличка К 725 (Британский музей).

«Если Венера остановится на своем месте, дни царя будут долгими, в стране будет справедливость. Если Венера — во владениях Эа...» (стр. 206).

«Марс виден в месяц дузу; он — слабый... Если Марс стоит высоко и станет ярким, царь Элама умрет. Если бог Нергал при своем исчезновении начнет ослабевать и станет таким же слабым, как звезды неба, он будет милостив к земле Аккада... Если Марс — слабый — это удача, если яркий — неудача. Если за Марсом следует Юпитер, этот год будет счастливым. Из Буллуту» (стр. 232).

«Марс вступил в пределы Аллула (Рака). Это не считается предзнаменованием, ибо в этой области он не стоит, не ждет, не отдыхает; он быстро идет дальше. Из Бил-на-сира» (стр. 236).

«Если Юпитер переместится к западу, жилище будет в безопасности, на земле будет господствовать мир. Он появился впереди Аллула.

Если Юпитер станет ярким во владениях Бела и станет Нибиру..., в Аккаде будет изобилие, могущество царя Аккада возрастет... Если великая звезда как огонь взойдет на востоке и исчезнет на западе, войска врага будут разбиты. В начале правления Юпитер был виден на благоприятном месте; возможно, бог богов сделает тебя счастливым и продлит твои дни. Из Ашариду, сын Дамка» (стр. 187).

Упомянутая здесь огненная звезда была, вероятно, метеором, так же как и в следующем тексте:

«После того, как прошел один кас-бу (2 часа) ночи, огромная звезда блеснула с севера к югу. Ее предзнаменования благоприятны для желания царя. Царь Аккада выполнит свою миссию. Из Ашариду великого, царский слуга» (стр. 201).

В письме из Мар-иштара к царю Асархаддону (668 г. н. э.) мы читаем:

«...В первый месяц... двадцать девятого, Юпитер — ушел... теперь он отсутствовал (т. е. был невидим) на небе один месяц и 5 дней; шестого числа

*) The Reports of the Magician and Astrologers of Nineveh and Babylon, 1900 [7].

третьего месяца Юпитер стал видим в районе Ориона; он проходил на 5 дней позже своего времени. Это годится для предзнаменования: если Юпитер становится видимым в третьем месяце, страна будет опустошена, и хлеб будет дорогим..., если Юпитер вступит в Орион, боги разорят землю» [8].

В этих и аналогичных текстах, где значение некоторых выражений все еще остается неопределенным, мы находим астрономические наблюдения, значительно более разнообразные и детальные, чем требовалось ранее для календарных целей и ориентировки. Астрология так тесно связывала жизнь человека с небом, что звезды, их движения и изменения начали занимать важное место в мыслях и деятельности человека; ведь светящиеся боги своими удивительными орбитами сплетали его судьбу. Теперь человек все больше и больше узнавал о движении планет, которое открывалось его глазам и возбуждало его интерес, как мы видели из отчетов: Юпитер идет к западу, Марс стоит в Скорпионе, поворачивается и идет дальше, с уменьшенной яркостью; Венера стоит на своем месте, Меркурий идет обратно, а Сатурн появился во Льве. Хотя теории периодов еще не существовало (во всех этих утверждениях год и дата опущены), в умах наблюдателей должно было возникнуть представление об известной и предполагаемой регулярности, находившее выражение в утверждениях, что планета стоит на правильном месте или что Юпитер появился позже своего времени.

Луна была для астролога главным небесным телом после планет. Ее хронологическое значение теперь должно было уступить место ее астрологическому влиянию. Недостатки хронологии даже стали для астрологов источником предсказания; то, что Луна появлялась не вовремя, было самым плохим предзнаменованием. Вероятно, новый серп мог появляться на двадцать восьмой или двадцать девятый день месяца из-за невидимости Луны сквозь облака или из-за небрежности, допущенной при наблюдениях в беспокойные для государства периоды; таким же образом и полнолуние, которое обычно должно было наступать на четырнадцатый день, могло прийтись и на тринадцатый, пятнадцатый или шестнадцатый день.

«Если Луна появится в первый день, будет спокойно, земля будет удовлетворена...» (Томпсон, стр. 1, 2, 4 и т. д.).

«Если Луна появится на тридцатый день нисанну, Субарту истребит Ахламу: чужой народ будет господствовать в Амурру. Мы — Субарту. Если Луна появится на тридцатый день, на земле будет холодно. Луна появилась без Солнца на четырнадцатый день тебиту; Луна прибавляет день в сабату...» (стр. 62).

«Если Луна и Солнце видны вместе на тринадцатый день, будет неспокойно; на земле будет неудачная торговля, враг захватит землю. Из Апла» (стр. 120).

«Если Луна достигнет Солнца и вместе с ним исчезнет из вида..., на земле будет правда, и сын будет говорить правду отцу. Четырнадцатого бог был виден с богом... Если Луна и Солнце будут видны вместе четырнадцатого, наступит мир, земля будет удовлетворена; боги судили Аккаду счастье...» (стр. 124).

«Если Луна исчезнет, не дождавшись Солнца, львы и волки — взбесятся... пятнадцатого она была видна с Солнцем, после этого Луна прибавила день в тишриту... Из Баласи» (стр. 140).

«В первый день я послал царю следующее: четырнадцатого Луна будет видна с Солнцем... четырнадцатого Луна была видна с Солнцем» (стр. 154).

«Если Луна и Солнце будут видны вместе на шестнадцатый день, царь направит военные действия против царя. Царь будет осажден в своем дворце в течение месяца. Нога врага ступит на его землю; враг будет триумфально шествовать по его стране. Если Луна четырнадцатого или пятнадцатого дузу не будет видна с Солнцем, царь будет осажден в своем дворце. Если она будет видна на шестнадцатый день, это благоприятно для Субарту и не благоприятно для Аккада и Амурру. Из Акеллану» (стр. 166).

Для того чтобы понять такие наблюдения и выводы из них, мы должны предположить, что упомянутые явления наблюдались около полнолуния. Если месяц начинается обычно, т. е. если первый день начинается вечером, когда впервые становится виден серп (как правило, через 1,4 дня после соединения), то полнолуние приходится на ночь четырнадцатого, так как оно наступает через 14,7 дня после соединения (в среднем из-за неравномерностей в движении Луны этот период может быть на $^{3}/_{4}$ дня меньше или больше). Тринадцатого ночью Луна — еще не полная; при заходе Солнца она видна на востоке и заходит перед восходом Солнца; Луна не дожидается Солнца. Ночью четырнадцатого она также видна при заходе Солнца, но уже не садится, когда восходит Солнце, а слабеет и тускнеет на западе. Ассирийские астрономы выражали это следующими словами: «Луна была видна с Солнцем» или: «бог (Син) появился с богом (Шамашом)»; или: «Луна догоняет Солнце». Такой обычай был связан со всеми видами благоприятных предсказаний. Но если «Луна не ждала Солнца», а садилась перед его заходом, полнолуние должно было наступить позднее, и только на следующую ночь, пятнадцатого, Луна могла быть видна утром вместе с Солнцем.

В этих наблюдениях астрология сливалась с хронологией. Жрецы-астрономы замечали, что на небе все было в порядке, следовательно, и на земле должен был наступить мир. Или они замечали разногласия в календаре, которые, помимо плохих предзнаменований, указывали и на необходимость что-то исправить. Полнолуние должно было наступать на четырнадцатый день после первого появления Луны, но из-за неравномерностей в ее движении этого могло и не случиться. Если полнолуние наступало на тринадцатый день, они заключали, что месяц должен иметь только 29 дней. Когда Луна была видна вместе с Солнцем после четырнадцатого, то месяц должен был содержать 30 дней; в этом случае Луна «прибавляла день». Когда Солнце и Луна

наблюдались вместе четырнадцатого и предшествующий месяц имел 30 дней, следующий месяц должен был состоять только из 29 дней.

«Луна прибавляет день в нисанну. Из Набу-ахи-ириба» (стр. 51).

«Луна прибавляет день в адару; четырнадцатого вместе с... они убавят один день в месяце аиру...» (стр. 53).

Таким образом, астрологические соображения, на основании которых основное внимание уделялось наблюдению Луны, обеспечивали лучшее обоснование и для хронологии. Порядок и правильная повторяемость явлений были подмечены и использовались для предсказаний их видимости в будущем.

На Луне, конечно, можно было отметить значительно бо́льший круг явлений: ее цвет и яркость, форму рогов, пепельный свет («Луна несет «агу», т. е. тиару или царский головной убор»), туманную корону или кольцо (гало́). Такое кольцо часто рассматривалось как забор, окружающий овечье пастбище, с Луной наподобие пастуха в центре; вавилонская идеограмма для планеты — *лубат* — означает «блуждающая овца» [9]. Иногда гало́ представлялось в виде реки, а иногда оно означало осаду, с планетами или звездами внутри кольца, указывавшими, кто был осажден. Если кольцо оказывалось незамкнутым, это, конечно, означало избавление от осады.

Если гало́ окружит Луну и Юпитер окажется внутри него, царь будет окружен. Гало́ было разорванным; это — к добру... (Из Набу-шума-ишкуна)». (стр. 95).

«Если гало́ окружит Луну и Судун окажется внутри него, царь умрет, а его владения будут уменьшены; царь Элама умрет. Судун — Марс, Марс — звезда Амурру; это неблагоприятно для Амурру и Элама. Сатурн — звезда Аккада, это — благоприятно для царя, мой господин. Из Ирасши-илу, царский слуга» (стр. 107).

Затмения также считались в высшей степени важными предзнаменованиями. Во все времена их неожиданное наступление глубоко поражало людей, особенно потому, что правильно повторяющимся явлениям придавалось самое большое значение. Они доставляли множество предсказаний. При наблюдении солнечного затмения отмечались месяц и положение Солнца на небе, вид и направление его рогов, когда оно «принимало вид Луны». Помимо астрономических затмений, Солнце могли затмевать также и пылевые бури; по-видимому, так и бывало в тех случаях, когда сообщалось о затмениях, происходивших в другие дни месяца, чем двадцать седьмое или двадцать восьмое.

Значительно более многочисленными были предзнаменования, получавшиеся из наблюдения лунных затмений. Когда Луна затмевалась полностью, это считалось знамением для всех стран; когда она затмевалась частично, предполагалось, что каждая из четырех ее сторон соответствует отдельной стране, и значение предсказания было различным в зависимости от месяца, дня и часа наблюдения. Поэтому инструкция, приведенная в большой коллекции древних предзнаменований, призывала *Энума Ану Энлиля*:

«Если Луна затмится, вам следует точно отметить месяц, день, час ночи, ветер, движение и расположение звезд, среди которых произойдет затмение. Предзнаменования соответствуют месяцу, дню, часу ночи, ветру, движению звезд и звездам, которые вы должны указать» [10].

Так, в отчетах об одном затмении, наблюдавшемся к концу ночи в месяце симанну, мы находим:

«Затмение в утренний час означает болезнь... Утренние часы — Элам, четырнадцатый день — Элам, симанну — Амурру, вторая сторона — Аккад... Если затмение происходит в утренний час и бывает продолжительным, причем дует северный ветер — болезнь вернется в Аккад. Если затмение начнется на первой стороне и остановится на второй — в Эламе будет резня; Гути не приблизится к Аккаду... Если затмение начнется и закончится на второй стороне, боги будут благосклонны к земле. Если Луна затмится в симанну после года Раману (бог бури), будет наводнение. Если Луна затмится в симанну, будет разлив рек и, получив воду, земля станет изобильной...» (Томпсон, стр. 271).

Перечень предзнаменований весьма богат; каждая деталь имела значение. При наличии таких подробностей мы можем говорить о совершенно точном наблюдении затмения. Не удивительно поэтому, что первые наблюдения затмений, происшедших в то время: 19 марта 721 г. до н. э.; 8 марта 720 г. до н. э. и 11 сентября 720 г. до н. э., через много столетий были использованы Птолемеем для вывода лунного периода. Все, что хотелось ему узнать,— было точное число лет и дней, протекших с того времени. Вероятно, отсутствие таких данных помешало ему использовать более ранние затмения, и по этой причине Птолемей начал составление своего знаменитого списка царей, вместе с годами их правления, начиная с вавилонского царя Набонассара (747 г. до н. э.).

Можно ли предполагать, что сами вавилонские наблюдатели не заметили правильности в столь тщательно изучавшихся явлениях? Их отчеты показывают, что они ожидали затмения и умели предсказывать эти события:

«Четырнадцатого произойдет затмение; это — неблагоприятно для Элама и Амурру, но благоприятно для царя, мой господин; пусть царь, мой господин, успокоится. Оно будет видно без Венеры. Царю, мой господин, я говорю: будет затмение. Из Ирасши-илу, царский слуга» (Томпсон, 273).

«Царю стран, моему господину, твой слуга Бил-усур. Может быть, Бел, Небо и Шамаш будут милостивы к царю, мой господин. Затмение произошло, но оно не было видимо в столице. Когда приближалось затмение в столице, где находился царь, его стали наблюдать, но повсюду были облака, и поэтому мы не знаем, было затмение или нет. Пусть господин царей пошлет в Ашшур, во все города, в Вавилон, Ниппур, Урук и Борсиппу; что бы ни

видели в этих городах, обо всем царь услышит наверняка... Великие боги, которые пребывают в городе царей, мой господин, омрачили небо и не позволили видеть затмение. Так пусть царь знает, что это затмение не направлено ни против царя, мой господин, ни против его страны. Пусть царь радуется...» (Томпсон, стр. 274).

Разве не блестящая идея, что во время затмения благодаря охране богов Ашшура, знающих, что зло не угрожало стране и ее царю, над городом должен был задергиваться занавес из облаков так, чтобы царь не тревожился? По мнению лейденского ассириолога Де Лиагра Бель, бо́льшая часть этих отчетов приходится на период между 675 и 665 гг. до н. э.— критическое для Ассирийской империи время, когда больной и полный опасений царь вернулся после не очень удачного египетского похода. Здесь мы имеем совершенно точную дату, для которой может быть дано состояние астрономических знаний. Такие знания действительно были, так как в этих отчетах предсказания затмений уже определенно давались и уточнялись.

«Царю, мой господин, я передал: „Будет затмение". Теперь оно не прошло мимо, оно было...» (Томпсон, стр. 274).

В этих текстах нет указаний, на основе чего составляли жрецы свои предсказания. Однако в наступлении лунных затмений существует такая простая закономерность (впервые отмеченная Скиапарелли), которая должна была бы вскоре привлечь их внимание. Они могли увидеть, что второе затмение никогда не происходит раньше, чем через 6 месяцев, а за ним часто следует третье, еще 6 месяцев спустя. Иногда — даже четвертое или пятое затмения, но всегда с промежутками в 6 месяцев. В непрерывных рядах часто оказывался пробел; это случалось тогда, когда затмение приходилось на дневное время, так что полная Луна была под горизонтом.

Однажды наблюдатели поняли, что в этом и заключалась причина пробела, и смогли заполнить его, добавляя в нужный момент ненаблюдавшееся затмение; так были построены правильно повторяющиеся непрерывные серии из 5 или 6 видимых или невидимых затмений. Затем серия заканчивалась, но спустя год или два начиналась новая, иногда на месяц раньше, чем следовало по продолжительности предыдущей серии. Так, если наблюдалось затмение, которому не предшествовало другое — на 6, 12 или 18 месяцев ранее, то они могли заключить, что началась новая серия, и, следовательно, могли предсказать новые затмения через 6 или 12 месяцев.

Основу для этой регулярности легко увидеть, опираясь на современные знания. После шести лунных периодов (177,18 дня) Солнце, а следовательно также и место наступления полнолуния

продвигалось вперед по долготе в среднем на 174°,64. Из-за переменной скорости Солнца и Луны реальное продвижение могло оказаться на несколько градусов большим или меньшим. Одновременно узлы лунной орбиты отступали на 9°,38; отсюда противоположный узел оказывался расположенным на 170°,62 дальше по долготе. В этом случае полнолуние продвинулось относительно узла на 4°,023. Если оно было вблизи узла, тогда спустя 6 месяцев полнолуние снова должно было произойти вблизи узла. Полная Луна может пройти через земную тень только тогда, когда

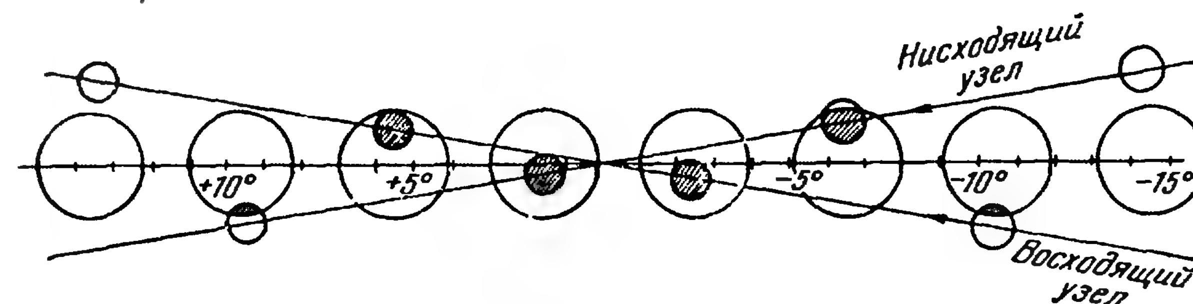


Рис. 2.

ее расстояние от узла не превосходит 10°—12°; для полного же затмения расстояние не должно превышать 5° или 6°, иначе затмение будет только частным.

Мы можем разъяснить эти «условия затмения», вычислив расстояния для ряда последовательных полнолуний с интервалами в 6 месяцев, начиная с первого значения и увеличивая его каждый раз на 4°, 02 или 4°, 03:

−14°,50	−10°,48	−6°,45	−2°,43	+1°,59	+5°,62	+9°,65	+13°,67
затмения нет	частное?	частное	полное	полное	полное?	частное	затмения нет

Эти явления показаны на рис. 2, где большие круги представляют тень, а малые круги — Луну.

В Месопотамии, где климат всегда благоприятен, за исключением немногих зимних месяцев, жрецы-астрономы могли почти всегда наблюдать все, что происходило, и должны были заметить эту регулярность, несмотря на трудности, возникавшие в тех случаях, когда часть затмений оставалась невидимой, так что серия ломалась. Тем не менее в период между 750 и 650 гг. до н. э. ряд из пяти следующих друг за другом видимых затмений выпал 4 раза, а серия из четырех затмений — также 4 раза. Более того,

по своим наблюдениям явлений около полнолуния они могли обнаружить причину пробела: когда Луна утром не «дожидалась» Солнца, момент точного противостояния должен был наступить позднее — днем, и затмение не должно было быть видимо.

«Затмение прошло мимо; его не было. Если царь спросит: „Какие предзнаменования ты видишь?" — боги не виделись друг с другом... (Из Мунна-бату)». (Томпсон, стр. 274А).

Таким образом, уже в ассирийские времена астрономические явления не только предсказывались и контролировались, но их неожиданное отсутствие объяснялось естественными причинами.

ГЛАВА 5

НОВАЯ ВАВИЛОНСКАЯ НАУКА

С самого начала ассирийского владычества сложились условия, при которых могла возникнуть астрономическая наука. Астрология, тесно связывавшая жизнь человека со звездами, привлекала его пристальное внимание к небесным светилам и их движениям. Полученные таким образом знания небесных явлений не могли явиться результатом наблюдений, проводившихся только для простого счета времени и ориентировки. Однако эти знания все еще не заключали в себе и тени научной целеустремленности. Поэтому ранних предшественников не следует сравнивать с современными учеными, воодушевленными стремлением к изучению и объяснению явлений. На протяжении всего периода античности отношение человека к явлениям природы определялось не с точки зрения категории причинности, а с точки зрения завершенности той философской системы, на которую при этом опирались. Связь между явлениями рассматривалась не как причина и следствие, а как примета и значение.

Следовательно, искали не регулярность или закон. Тем не менее они проявлялись. Это не вызывало удивления; что касается закономерностей в движении Солнца и смене лунных фаз, то они были известны с древности. Теперь постепенно подмечались регулярности в движении планет и наступлении затмений, сначала в виде инстинктивного предположения или неосознанного знания, такого, например, которое сопровождает жизненный опыт в целом, а затем — в виде все более осознанного знания, связанного с развитием искусства предсказания этих явлений. Следовательно, наука начиналась с систематизации эксперимента, главным образом в форме периодов, по истечении которых явления повторялись в той же последовательности *).

Внешние условия благоприятствовали этому развитию. Склонность ассирийцев к активной деятельности, проявившаяся в их завоеваниях, находила выход также и в других областях. Город Вавилон, разбогатевший на торговле, чувствовал себя достаточно

*) Наука начиналась с установления закономерностей, а это было задолго до «новой вавилонской науки». *(Прим. ред.)*

сильным для того, чтобы то и дело восставать, иногда даже успешно, против своих ассирийских хозяев. Когда в результате упорных сражений с варварскими племенами Европы — киммерийцами — могущество Ассирии ослабло, империя пала под объединенным натиском вавилонян и мидийцев, и Ниневия (в 606 г. до н. э.) превратилась в груду развалин. Вавилон снова стал неоспоримой столицей новой империи, которая при Навуходоносоре (604—561 гг. до н. э.) распространила свою власть на всю Переднюю Азию. Все древние вавилонские традиции были восстановлены, город стал застраиваться многочисленными храмами, и жречество почувствовало себя духовным владыкой огромной империи. Это положение все еще сохранялось, когда в 539 г. до н. э. город завоевал персидский царь Кир, вероятно, призванный жрецами Мардука против правителей, поклонявшихся другим божествам. Кир и его последователь Камбис действовали как избранники Мардука, как цари Вавилона, продолжавшие традиции древней столицы. Для свержения вавилонизированных правителей при Дарии понадобилось восстание персидской знати, чтобы после тяжелой борьбы возвести гордый город на положение второй персидской столицы. После завоевания Персидской империи Александром Македонским Вавилон снова стал столицей и оказал большое влияние на греческую науку своей богатой древней культурой. На протяжении этих столетий, от Ашшурбанипала до Александра, несмотря на смену династий, Вавилон оставался крупным торговым центром, столицей процветающей империи и культурным центром всего Ближнего Востока.

При таких условиях не должно быть удивительным, что астрономическая деятельность получила широкое развитие, которое и привело к первому подъему науки. После того как в этих малых воюющих странах, включенных в обширную Персидскую державу, воцарился мир, старые предзнаменования счастья или несчастья стали бессмысленными. Персидские монархи, поклонявшиеся Ахурмазда, не пользовались предсказаниями Мардука и Иштар. Это не означало, что жрецы-наблюдатели могли прекратить свою работу; просто их отношение к небесным явлениям изменилось. Они не игнорировали больше все земное, заботясь лишь о том, чтобы прочесть на небе послания, начертанные там богами. Они узнавали, по крайней мере отчасти, и со все возрастающей уверенностью то, что должно было там реально находиться, и начали это предсказывать. Они узнавали пути богов и могли показать свое знание; и это более высокое положение еще больше увеличивало их рвение и упорство в деле наблюдения, рассматривавшегося ими как ритуальная обязанность, как служба богам. Таким образом, астрономическое наблюдение становилось более детальным и точным, более полным и осознанным. Расстояния

планет от ярких звезд указывались численно и, возможно, измерялись, хотя в текстах нет накаких упоминаний об инструментах.

Мы не знаем, по каким направлениям шло это развитие; сохранились только некоторые результаты, а не сами исследования. Эти результаты скудны и отрывочны; открытие и дешифровка новых текстов могут значительно изменить многие из наших теперешних взглядов; и все же кажется возможным составить некоторое представление об уровне развития астрономических знаний в тот период.

Возьмем сначала неподвижные звезды. Сохранился список V в. до н. э., дающий систематический обзор относительных положений созвездий. Их удалось отождествить почти полностью; как мы уже видели, многие из них относятся к более давним временам. Большинство звезд и созвездий имеют названия, которыми мы пользуемся и сегодня,— очевидно, заимствованные у вавилонян греками: Бык (Телец), Близнецы, Царь (Регул), Колос, Скорпион, Стрелок из лука (Стрелец), Рыба-Козел (Козерог), Орел, Лев, Гидра, Рыба Эа (Южная Рыба), Волк, Ворон. Но некоторые созвездия — иные; у вавилонян были Пантера, Козел и Чаша там, где у нас Лебедь, Лира и Возничий, а их Стрела-звезда — наш Сириус. Протяженность созвездий, конечно, часто отличается; в их Пантеру была включена северная часть нашего Цефея, а звезды нашего Большого Пса разделены между Стрелой и Луком. Некоторые названия все еще ожидают своего отождествления.

Кроме того, существуют списки около 30 звезд, связанных с днями года — днями их гелиакических восходов. Из-за интеркаляций даты вавилонского календаря, соответствующие звездам, могут смещаться на 10 или 20 дней; следовательно, даты этих списков, округленные в основном до чисел, кратных пяти, должны показать некоторое среднее или нормальное значение. Действительно, мы находим (заменяя названия месяцев цифрами от I до XII): Возничий I, 20 (для Капеллы вычислено I, 16), Плеяды II, 1 (вычислено II, 6), Альдебаран II, 20 (вычислено II, 18), Орион III, 10 (для Бетельгейзе вычислено III, 13), Близнецы III, 10 (для Кастора вычислено III, 13), Сириус IV, 15 (вычислено IV, 10), Регул V, 5 (вычислено IV, 26) и т. д. Обычно наблюдается прекрасное совпадение дат; большое расхождение в случае только что названных звезд может быть обусловлено ошибкой, допущенной при переписывании.

Другая разновидность списка связывает утренний восход одной звезды с кульминацией другой следующим образом:

«Если вы установите шест для наблюдения в месяц аиру на первый день утром, перед восходом Солнца так, чтобы запад был у вас с правой руки, восток — с левой, а ваши глаза направлены к югу, тогда „Грудь Пантеры" [ε Лебедя] будет стоять перед вами в середине неба, и появятся Плеяды»[1].

Нечто аналогичное указано во фрагментарном ассирийском тексте о лунном затмении, где упомянут шест и «звезда Кумару [γ Лебедя] прямо над вами». Такое предложение приводится и для каждого следующего месяца. Астрологическая связь между такими звездами была для вавилонян, вероятно, само собой разумеющейся. Между парами звезд существовала и другая обратная зависимость: когда одна (пара) восходила, другая заходила. Мы читаем, например, что Плеяды восходят — Скорпион заходит; Альдебаран восходит — Арктур заходит; Орион восходит — Стрелец заходит [2]. Таким образом, нам становится ясна важность в вавилонских наблюдениях горизонта как большого круга, разделяющего небесную сферу на две половины. Со своих ступенчатых башен наблюдатели могли видеть его по всей окружности, а ясное небо, должно быть, позволяло им видеть звезды в полном блеске, всего в нескольких градусах от горизонта.

В этих списках мы не находим измерений; но существует список звезд всего неба с дополнительными числами, которые, очевидно, означают последовательные расстояния [3]. Они даны в тех колонках пропорциональных чисел, ясно указывающих на одни и те же количества, выраженные в различных единицах. Первая колонка — в шестидесятеричных весовых единицах (*билту, мана, шикулу,* соответствующих греческим и библейским *таланту, мине, сикелю);* следующая — в единицах времени — *беру* (2 часа), делящихся на 30 *уш* по 4 минуты. Из греческих источников мы знаем, что вавилоняне пользовались водяными часами, в которых ход времени измерялся по вытеканию воды. Таким образом, кажется правильным считать эти числа разностью во времени прохождения звезд через меридиан; и они действительно более или менее согласуются с разностями прямых восхождений этих звезд. Они могли использоваться для того, чтобы отсчитывать на ночном небе изменение времени. Для такого рода измерений не было необходимости градуировать круги.

Связь между звездами и датами гелиакических восходов в этих списках указывает на то, что календарь теперь приобрел определенную правильность. Эмпирически подмеченная регулярность в повторении этих восходов в определенные даты должна была привести к использованию правила, установленного для интеркаляций, особенно восьмигодичного и девятнадцатигодичного. В восьмигодичном периоде годы с тринадцатым месяцем наступают с интервалами в 3,3 или 2 года; все они имели второй адару, кроме того случая, когда после второго трехлетнего интервала, когда календарные даты доходили до самого далекого из сезонов — шестого месяца, повторялся улулу, вероятно, потому, что осенние праздники приходились на удобное время. В девятнадцатилетнем периоде интервалы таковы: 3, 3, 2, 3, 3, 3 и 2 года; и

здесь по той же самой причине после третьего из трех последовательных трехлетних интервалов вставлялся второй улулу. Напомним, что в старые времена повторение месяца улулу было крайней мерой, применявшейся только тогда, когда календарные даты смещались в году слишком сильно. Из гражданских документов и астрономических таблиц удалось восстановить, хотя и не для всех моментов, какие годы имели дополнительный месяц. Было найдено, что во времена Камбиса и Дария в употреблении был восьмилетний цикл; это доказывается тем, что если разделить число лет на 8, всегда получается одна и та же группа остатков. Ниже приведен список вставных лет, причем первая строка дает год правления царя, следующая — его эквивалент в нашем календаре, а третья — остаток; звездочка указывает, что год имел второй улулу.

Царь	Кир					Камбис			
Число лет	2*	3	4	7	9*	3*	5	8	3*
Год до н. э.	537*	536	535	532	530*	527*	525	522	519*
Остаток	1	0	7	4	2	7	5	2	7

Царь	Дарий						
Число лет	5	8	11*	13	16	19	22
Год до н. э.	517	514	511*	509	506	503	500
Остаток	5	2	7	5	2	7	4

Сначала мы не видим никакой закономерности; затем с 530 г. до н. э. начинает регулярно проявляться восьмилетний период; но после трех таких периодов оказывается, что вычисления сделаны неправильно, и в 503 г. до н. э. интеркаляция должна была быть отложена до месяца адару. Через столетие мы снова получаем ряд последовательных дат, и здесь девятнадцатилетний период проявляется удивительно точно, как видно из таблицы на стр. 54.

Как показывают остатки от деления номера каждого года на 19, после 380 г. до н. э. в употреблении был девятнадцатилетний период. Использование имени правившего царя для нумерования годов было оставлено тогда, когда последователи Селевка стали продолжать счет лет от начала династии. Этот ряд лет и образовал так называемую «эру Селевкидов» (э. с.), первый год которой

Царь	Артаксеркс										
Число лет	18	20	24	26	29	32	34*	37	40	43	45
Год до н. э.	387	385	381	379	376	373	370*	368	365	362	360
Остаток	7	5	1	18	15	12	9	7	4	1	18
Царь	Ох								Дарий		
Число лет	2	5	8*	10	13	16	18	21	1		
Год до н. э.	357	354	351*	349	346	343	341	338	335		
Остаток	15	12	9	7	4	1	18	15	12		
Царь	Александр				Филипп			Антигон			
Число лет	4*	1	4	7	2	5	2	5*			
Год до н. э.	332*	330	327	324	322	319	316	313*			
Остаток	9	7	4	1	18	15	12	9			
Царь	Селевк										
Число лет	1	4	7	9	12	15	18*				
Год до н. э.	311	308	305	303	300	297	294*				
Остаток	7	4	1	18	15	12	9				

начался весной 311 г. до н. э.; в этой эре дополнительный тринадцатый месяц имели годы с остатками 1, 4, 7, 9, 12, 15, 18*.

Здесь уместно задать вопрос, можно ли число дней в месяце (29 или 30) — этот своеобразный цикл — заменить эмпирической регистрацией первого серпа? Тексты не показывают регулярности таких циклов; это происходит из-за больших неравномерностей в движении Луны и из-за изменения наклонности эклиптики к горизонту, которая весной делает серп видимым на меньшем расстоянии от Солнца, чем осенью. В вавилонском климате эмпирический метод был несомненно лучшим и наиболее простым. В III в. до н. э., как будет показано, наука так далеко продвинулась вперед, что эти неравномерности могли вычисляться заранее.

Было проведено так много наблюдений Луны, что они, естественно, стали объектом теоретического вычисления. Это началось как раз в ассирийский период: в библиотеке Ашшурбанипала были найдены тексты с правильными рядами чисел, которые схематически дают интервалы времени между заходом Солнца и заходом Луны для дней после первого числа каждого месяца и подобным же образом — интервалы времени между заходом Солнца и восходом Луны для дней после 15 числа. Другие таблицы, возможно, до первого тысячелетия до н. э. схематически дают возрастание и убывание со временем года интервала времени между заходом Солнца и первым серпом (или между заходом Солнца и восходом Луны через день после полнолуния). Между максимумом в 16 *уш* и минимумом в 8 *уш* значения изменяются равномерно на $1^1/_3$ *уш* в месяц.

Форма этой теории, перенесенной в следующие столетия, совершенно отлична от нашей; это ясно указывает на то, что она возникла из обычной наблюдательной практики, проводившейся с целью предсказания. Старейшим документом такой научной астрономии является более поздняя копия текста, датированная седьмым годом Камбиса (523 г. до н. э.). Она содержит данные для первого и последнего серпа и для явлений около полнолуния, причем все они выражены в единицах *уш* (4 минуты) и вычислены для всех последовательных месяцев. Документ содержит только числа и краткие идеограммы. В следующей таблице показаны данные для второго месяца со значением идеограмм.

Аиру	30	23	
	13	8	20 шу (заход)
ночь	14	1	лал (противостояние)
	14	1	40 на (свечение)
ночь	15	14	30 ми (ночь)
Симанну	30	18	30 шу

Таблица читается следующим образом: так как предшествующий месяц имел 29 дней, первое аиру названо тридцатым; Луна заходит через 23 *уш* (92 минуты) после Солнца. 13 аиру Луна *заходит* за $8^1/_3$ *уш* ($33^1/_3$ минуты) до восхода Солнца. Вечером четырнадцатого Луна восходит на 1 *уш* (4 минуты) до захода Солнца, следовательно, они видны в *противостоянии*. Четырнадцатого при восходе Солнца Луна все еще светит и заходит на $1^2/_3$ *уш* ($6^2/_3$ минуты) позже. Пятнадцатого Луна восходит *ночью* через

$14^1/_2$ *уш* (58 минут) после захода Солнца. 27 аиру последний видимый серп Луны взошел за 21 *уш* (84 минуты) до восхода Солнца. В аиру — 29 дней; первого симанну Луна заходит через $18^1/_2$ *уш* (74 минуты) после захода Солнца [4].

Это — те же самые явления, которые качественно наблюдались и в ассирийские времена для описания соединения и противостояния Луны и Солнца, однако теперь они давались уже в численной форме. Указание на то, как были получены эти числа, можно найти в более поздних текстах (от 378 г. до н. э., до 38 и 79 гг. эры Селевкидов, т. е. 278 и 232 гг. до н. э.), где приведены сведения того же рода, но здесь уже выступающие как величины, выведенные из наблюдений. Они разбросаны среди записей о планетах, затмениях, гало́, цен на продукты питания и описаний политических событий. Их можно рассматривать как прямое продолжение старых качественных ассирийских наблюдений. Кроме этих текстов, существовали позднее вычисленные таблицы, подобные тексту 523 г. до н. э. Дешифровка и объяснение таких табличек 188, 189 и 201 гг. эры Селевкидов, выполненные Эппингом в 1889 г., явились первым шагом в научном изучении вавилонской астрономии. Эти таблицы несомненно выводились каким-то образом из наблюдательных данных, возможно, с использованием таких же схематических таблиц, как вышеупомянутые.

Знание периодов, по истечении которых повторялись те же самые явления, было первой формой научной астрономии. Периодичность небесных явлений, которую навязывало уму тщательное и систематическое наблюдение, послужила мостом от эмпирической практики к предсказывавшей события теории. Абстрактное правило, подмеченное в периодической повторяемости явлений, развивалось из конкретных фактов. Период был основой и сущностью первой науки о звездах. С открытием и точным установлением периодов знание превратилось в науку. Такова краткая история развития вавилонской астрономии с седьмого до третьего веков до нашей эры. Это относится не только к изучению Луны, но и планет.

Период, по истечении которого повторяются противостояния и соединения планет, т. е. те же самые их положения относительно Солнца, называется «синодическим периодом планеты». Так как Сатурн, Юпитер и Марс соответственно затрачивают приблизительно 30, 12 и $^{15}/_8$ года на одно обращение по эклиптике, их синодические периоды составляют примерно $1^1/_{29}$, $1^1/_{11}$, $^{15}/_7$ года. Венере и Меркурию, которые как бы колеблются около Солнца [5], требуется 1 год для завершения среднего обращения по эклиптике, и их синодические периоды близки к $^8/_5$ и $^1/_3$ года. Таков же и период чередования прямого и попятного движения по эклиптике. Это — не точное повторение, потому что скорость продвижения и длина

дуги попятного движения изменяются с долготой. Таким образом, время обращения по эклиптике является вторым, обычно более длинным периодом. Так как это обращение не охватывает точного числа лет, а составляет несколько больший промежуток времени, являющийся общим кратным синодического периода и времени обращения, необходимо иметь движения и положения планет относительно Солнца и звезд для момента, когда они возвращаются к тем же самым значениям. А так как точного общего кратного не существует, эти большие периоды также приблизительны, и явления (например, противостояния в том же самом созвездии) повторяются через несколько дней, отличаясь на несколько градусов. Такие большие периоды даны в следующей таблице:

Сатурн	57 синод. период. =	2 обращ. =	59 л. + 2 дня	(— 6 дней)
Юпитер	65 синод. период. =	6 обращ. =	71 г. — 5 дней	(0 дней)
Юпитер	76 синод. период. =	7 обращ. =	83 г. + 0 дней	(—13 дней или + 17 дней)
Марс	22 синод. период. =	25 обращ. =	47 л. — 7 дней	(+ 2 дня)
Марс	37 синод. период. =	42 обращ. =	79 л. + 4 дня	(+ 7 дней)
Венера	5 синод. период. =	8 обращ. =	8 л. — 2 дня	(— 4 дня)
Меркурий	19 синод. период. =	6 обращ. =	6 л. + 8 дней	(+ 14 дней или — 16 дней)
Меркурий	41 синод. период. =	13 обращ. =	13 л. + 2 дня	(— 4 дня)
Меркурий	145 синод. период. =	46 обращ. =	46 л. + 0,3 дня	(— 1 день)

Это — обычные солнечные годы; так как Солнце проходит каждый день 1° по долготе, избыток в градусах за число обращений равен избытку дней над целым числом лет. Если, однако, мы считаем в вавилонских лунных годах по 12 или 13 лунных месяцев, для излишков дней следует брать значения, стоящие в скобках.

То, что вавилоняне знали и использовали часть этих периодов, явствует из местами поврежденного текста персидской эпохи, в котором мы читаем следующее:

«...Дилбат (Венера), 8 лет назад ты вернулась... 4 дня ты вычтешь... Гудуд (Меркурий), 6 лет назад ты вернулся... явления Залбатану (Марса) 47 лет... на 12 дней больше... ты будешь наблюдать... явления Саг-уш (Сатурна) 59 лет... вернулся, день за днем ты будешь наблюдать... явления Каксиди (Сириуса) 27 лет... вернулся, день за днем ты будешь наблюдать...» [6].

Здесь отчетливо названы планетные периоды. Куглер предположил, что 27 лет, связанные с неподвижной звездой Сириусом, представляют собой календарный период из 8 + 19 лет. Однако он недостаточно ясно проявляется в рядах известных вставных лет.

Как удавалось древним астрономам использовать для предсказаний эти большие периоды? Чтобы узнать явления планет, им необходимо было отступить назад на число лет большого периода и скопировать явления этого года, исправив их в случае надобности

на несколько дней и градусов. Если им надо было составить эфемериды, скажем, для 140 г. э. с., они должны были взять для Юпитера данные 57 г. э. с. (140 лет — 83 года), для Венеры — данные 132 г. э. с. (140 л.— 8 л.), для Сатурна данные 81 г. э. с. (140 л.— 59 л.) и т. д. Существующие в текстах последовательные этапы в этом вычислении показывают, что вавилоняне действительно так и делали. Прежде всего в качестве основы для дальнейшей обработки наблюдения располагались в хронологическом порядке, наподобие дневника. Старейший образец такого дневника содержится в других частях вышеупомянутого текста седьмого года Камбиса (523 г. до н. э.). Здесь даны созвездия, в которых находятся планеты (с указанием западной, восточной или средней части созвездия), расстояния планет от Луны и друг от друга даны в *аммат*, состоящих из 24 *убани* (1 *аммат* равен примерно $2^1/_2°$) [7].

«Год 7, V, 22 Юпитер на з. Девы, гелиакич. заход; VI, 22 на в. Девы, гелиакич. восход; X, 27 на з. Весов, стояние; год 8, II, 25 в середине Девы, стояние; VI, 4 на в. Весов, гелиакич. заход. Год 7, III, 10 Венера — в голове Льва — вечерний заход; III, 27 в Раке, утренний восход; XII, 7 — в середине Рыб — утренний заход; год 8, I, 13 в колеснице (рога Тельца) — вечерний восход. Год 7, VI, 3 Сатурн — в середине Девы — гелиакич. заход; VII, 13 на в. Девы, гелиакич. восход; год 8, V, 29, заход. Год 7, II, 28 Марс на з. Близнецов, гелиакич. восход; год 8, V, 12, стояние; год 9, II, 9 на в. Льва, гелиакич. заход... Год 7, VI, 24 Венера в наибольшей элонгации; VII, 23 на рассвете Юпитер в 3 *аммат* к в. от Луны; VII, 29 на рассвете Венера на 2 *убани* к с. от Юпитера; VII, 12 Сатурн на 1 *аммат* к з. от Юпитера... Год 7, IV, 14 через $1^2/_3$ *беру* после начала ночи — лунное затмение, охватывающее с. половину; X, 14 за $2^1/_2$ *беру* до утра Луна затмилась, затмение видимо целиком, охватывает с. и ю. части...» [8].

Другой текст с таким же последовательным списком наблюдательных данных от 379 г. до н. э. носит заглавие (частично поврежденное, но восстановленное при сравнении его с похожими текстами): «Наблюдения для праздников с месяца тишриту до конца адару 26 года Арсеса, который назван Артаксерксом». Такое название показывает, насколько эта чисто астрономическая работа все еще была проникнута жреческими идеями о религиозных церемониях; в сознании наблюдателей это все еще служба богам. Здесь мы читаем:

«VIII 30 Луна появляется $14^1/_2$ (58 минут), виден серп; ночь $^1/_1$. Марс к з. попятное движение под β Овна на 2 *аммат* 10 *уб*;... ночь 12 полная Луна окружена гало́. Марс стоит внутри; царь и царский сын... Луна на $^2/_3$ *аммат* к в. от α Тельца..., 16 Юпитер в Скорпионе, гел. восход, $11^1/_2$..., (46 минут) видим; ...22 утром Луна на $2^1/_2$ *аммат* восточнее, под Сатурном; 22 Меркурий утром в Стрельце, гел. восход, 22 Марс на з., стояние...» [9].

Такие дневники, дающие места Луны и планет относительно определенных звезд, несомненно, регулярно велись астрономами и это являлось частью их официальных обязанностей.

Следующим этапом было составление для каждой планеты каталогов, содержащих выбранные из дневников данные для последовательных лет. Сохранились отрывки такого текста, охватывающего, вероятно, период времени с 387 по 346 гг. до н. э. Он дает восходы, заходы и стояния планеты Юпитера и ее положение относительно стандартных звезд. Кроме того, он, как обычно, дает длину каждого месяца... дузу 1, абу 30, улулу 1, так что не остается неопределенности относительно числа дней. Из этих каталогов составлялись «приблизительные таблицы» для определенного года. Такая таблица представлена текстом, носящим название: «Первый день, явления, движения и затмения, которые были определены для 140 года» [10]. Таблица содержит данные для Юпитера на 69 и 57 гг., для Венеры — на 132 г., для Меркурия — на 94 г., для Сатурна — на 81 г., для Марса — на 61 и 93 гг., а на обратной стороне — затмения на 122 г.; все годы — эры Селевкидов. Это как раз те годы, которые при добавлении названных выше больших периодов дают сто сороковой год. Эфемериды на сто сороковой год эры Селевкидов были получены переписыванием этих данных с небольшими поправками, где необходимо.

Бо́льшие или меньшие фрагменты вычисленных таким образом эфемерид с отбитыми краями и поврежденными названиями и числами были расшифрованы для 104, 120, 194, 129, 178 и 301 гг. эры Селевкидов. Все они дают гелиакические восходы и заходы, стояния и противостояния или наибольшую элонгацию (для Венеры и Меркурия), а также солнечные и лунные затмения. Однако содержание двух групп текстов несколько различно. Три первых текста дают созвездия и угловые расстояния планет от неподвижных звезд. Например, для 120 г. э. с.:

«II, 7 ночью, Марс над γ Близнецов — на 4 *аммат*; 23, вечером, Меркурий под β Близнецов — на $2^1/_2$ *аммат*; XII, 24 утром, Марс под β Козерога — на $2^1/_2$ *аммат*» [11].

В других трех текстах расстояния до звезд опущены; названо только созвездие. Итак, для 178 г. э. с. мы читаем:

«IV, 30 Венера и Марс — в Близнецах, Меркурий — в Раке, Сатурн — в Стрельце».

Это, кажется, должно быть менее точно; но затем между ними встречаются другие данные:

«IV, 13 Меркурий достигает Льва, V, 3 Марс достигает Рака, V, 15 Венера достигает Льва, VI, 9 Венера достигает Девы» [12].

Каковы границы этих созвездий? Вычисление планетных долгот для этих дат показывает, что они должны быть такими: 112°, 82°, 142°, 52°...; все значения оказываются на 22° больше последовательности чисел, кратных 30°. Все созвездия получили протяженность на 30° по долготе. Это означает, что они использовались

как знаки зодиака, т. е. как искусственные теоретические доли эклиптики. Эфемериды такого вида, давая для определенных дней точные долготы, представляют собой высшую ступень теоретического знания планетных движений. Эти эфемериды употреблялись до самых последних лет, о которых мы имеем сведения. Они были надежными из-за простоты вычислений, так как могли быть выведены непосредственно из предыдущих наблюдений. Можно уверенно предполагать, что теория постоянно улучшалась посредством частого сравнения ее с новыми наблюдениями для получения более точных поправок, которые должны были вводиться по истечении больших периодов.

Помимо движения планет, важное место в предсказаниях занимали затмения. В теории затмений также заметен большой прогресс. В ассирийские времена затмения предсказывались во многих случаях, возможно, просто на основе их повторения с интервалами в 6 месяцев, в сериях из 5 или 6 затмений, вследствие первоначального уменьшения, а затем увеличения расстояний полной Луны от узла. Серия кончалась, когда это расстояние становилось больше 11° или 12°; но тогда вскоре начиналась новая серия, с предшествующего полнолуния. Предшествующая полная Луна имеет долготу на 29°, 11 меньше; отсюда относительно узла, который ежемесячно отступает на 1°,56 назад, это составляет отступление на 30°,67. Если расстояния от узла, как вычислено в нашем примере (стр. 47) для средних скоростей, имеют возрастающие значения: +9°, 64, +13°, 67, +17°, 69, то они образуют для предшествующих полнолуний начало новой серии: —21°, 03, —17°, 00, —12°, 98, —8°, 95. Для этой новой серии, начинающейся через 8 × 6—1 = 47 месяцев после первой серии, мы можем написать расстояния между полнолунием и нижним узлом для той же первой серии:

I серия	—14°,50	—10°,48	—6°,45	—2°,43	+1°,59	+5°,62	+9°,64	+13°,67
II серия	—12°,98	—8°,95	—4°,93	—0°,91	+3°,11	+7°,14	+11°,16	+15°,18
	Затмения нет	Частное затмение	Полное затмение	Полное затмение	Полное затмение	Частное затмение	Частное затмение?	Затмения нет

В этой новой серии последовательность частных и полных затмений несколько отлична от первой потому, что все расстояния в первой серии на 1°, 52 меньше, а в последующей серии — больше на эту величину. Когда кончалась вторая серия, начиналась третья и четвертая.

Ниже мы даем расстояния для этих серий.

Серия	Расстояния							
III	—11°,46	—7°,44	—3°,42	+0°,61	+4°,63	+8°,65	+12°,67	
IV	—13,97	—9,95	—5,93	—1,90	+2,12	+6,14	+10,16	+14°,19
V	—12,46	—8,44	—4,41	—0,39	+3,63	+7,66	+11,68	
VI	—14,97	—10,94	—6,92	—2,90	+1,12	+5,15	+9,17	+13,19

Таким образом, серии следуют одна за другой, причем в середине серии всегда находятся одно или два полных затмения, которым предшествуют или за которыми следуют одно или два частных затмения и которые разделяются 2 или 3 раза шестью месяцами минус один без затмений; затмения, открывающие серию, происходят с интервалами в 41 или 47 месяцев. Величины последовательных расстояний показывают, что каждая из этих серий затмений отлична в отношении последовательности полных и частных затмений. Но в шестой серии расстояния почти возвращаются к прежним значениям; следовательно, в шестой серии последовательность должна быть весьма сходной с последовательностью первой серии. Таким образом, после 5 серий повторяются почти та же самая последовательность и тот же самый вид затмения.

Весьма вероятно, что ассирийские астрологи уже заметили, что через 41 или 47 месяцев после полного затмения можно ожидать другое полное или почти полное затмение. Однако доказать это невозможно, потому что в своих отчетах вавилоняне не раскрывают основу своих предсказаний. Более интересно то, что последовательность из 5 серий составляла более длинный период, по истечении которого виды затмений повторялись. Какова его продолжительность? Внутри серий 6 интервалов по 6 месяцев повторялись дважды, 7 таких интервалов — трижды, а между сериями — заключались 5 интервалов по 5 месяцев; это дает в целом 33 × 6 + 25 = 223 месяца. Этот период был известен в более поздней литературе под названием *сароса*; в вавилонских текстах и античной греческой литературе, однако, это название, по-видимому, не встречается. Сарос составляет 6585 1/3 дня, т. е. 18 солнечных лет плюс 11 1/3 дня; за этот период времени узлы совершают почти полное обращение попятным движением, а Луна проходит через восходящий узел 242 раза.

Установление этого длинного периода все еще может показаться трудным делом, так как 5 серий здесь не так сильно различаются. Однако неправильности в явлениях затмений облегчили

это открытие. Приведенные выше правильно возрастающие расстояния вычислены в предположении постоянства средних скоростей и средних размеров Солнца и Луны. В действительности же угловые размеры Луны и земной тени иногда больше, иногда меньше, так что расстояния от полнолуния до узла необходимо варьировать для полного затмения между 4°,75 и 5°,83, а для частного — между 9°,5 и 12°,2. Однако переменная скорость Солнца более важна; долгота Солнца, а следовательно, также и расстояние полнолуния от узла могут быть на 2°,28 больше (в марте) или меньше (в сентябре), чем принято в нашем примере. Вводя такие поправки (начиная с любого первого значения солнечной долготы), получим расстояния между полнолунием и узлом в последовательности из 6 серий, которые приведены в следующей таблице:

Серия	Расстояния							
I	—12°,37	—12°,70	—4°,20	—4°,61	+3°,87	+3°,37	+11°,87	+11°,51
II	—11,55	—10,15	—3,87	—1,73	+3,76	+6,70	+11,36	+15,18
III	—12,73	—5,98	—6,02	+2,38	+2,77	+10,64	+10,57	
IV	—11,74	—12,14	—3,81	—3,94	+4,04	+4,34	+11,87	+12,69
V	—12,16	—8,51	—4,55	—0,04	+3,05	+8,42	+10,69	
VI	—12,03	—13,02	—4,79	—5,12	+3,37	+2,87	+11,45	+10,94

Ход этих значений может быть чрезвычайно неправильным, а иногда даже обратным из-за того, что в последовательности шестимесячных интервалов положительные и отрицательные поправки чередуются. Виды затмений в последующих сериях становятся теперь заметно различными: то происходит 4 полных затмения, то 3 или 2; в нашей первой и шестой сериях полные затмения появляются внезапно, без предшествующих им частных затмений. Сходство шестой и первой серий теперь значительно больше благодаря тому, что период *сароса* только на 11 дней больше полного числа солнечных лет, так что после этого периода солнечные долготы приблизительно повторяются. Более того, период изменения размеров Луны и земной тени составляет 9 лет, так что через 18 лет их взаимные расположения снова почти точно повторяются. Это могло помочь вавилонским наблюдателям открыть восемнадцатилетний период. То, что они знали этот период и впоследствии его использовали, очевидно из вышеупомянутых «вспомогательных таблиц», в которых наступление затмений выводилось на основании данных для 18 предшествующих лет.

Таблица 1

ВАВИЛОНСКИЙ «КАНОН САРОСА»

X 32 IV дир X	X 4 IV X	дир XI 1 Ар IV X	XI 5 V дир XI	XI 11 V XI	дир XII 29 V XI
33 II 5 м VIII 34 II дир VIII 35 I VII 36 I VII	5 III 5 м дир IX 6 II VIII 7 II VIII 8 II VI дир VII	2 III 5 м IX 1Да III дир IX 2 II VIII 3 II VIII	6 III 5 м IX 1 Ан III IX 2 III дир IX 3 II VIII	12 IV 5 м (дир) X 13 III IX 14 III IX 15 III дир IX	30 IV 5 м X 31 IV дир X 32 III IX 33 IX IX
XII 5 м 37 VI дир XII 38 V XI 39 V XI	XII 5 м 9 VI XII 10 VI дир XII 11 V XI	4 I 5 м VIa XII 5 VI XII 1А VI дир XII	4 I 5 м VII 5 I VIa XII 6 VI XII	16 I 5 м VII 17 I VII 18 I VIa XII	34 II 5 м дир VIII 25 2
40 IV 5 м дир X 41 III IX 42 III IX 43 III дир IX	12 IV 5 м X 13 IV дир X 14 III IX 15 III IX	2 IV 5 м X 3 IV X 4 IV дир X 5 III IX	1 Си V 5 м дир XI 2 IV X 3 IV X 4 IV дир X	19 V 5 м XI 20 V дир XI 21 IV X 22 IV X	
44 I 5 м VII 45 I VII XIIa 46 VI XII 1U VI	16 II 5 м дир VIII 17 I VII 18 I VII XIIa 19 VI	6 II 5 м VIII 7 II дир VIII 1 Фи I VII 2 I дир VII	5 II 5 м VIII 6 II VIII 7 II дир VIII 8 I VII	23 IIII 5 м дир IX 24 II VIII 25 II VIII 26 II VIII	
XI 5 м 2 V дир XI 3 IV	XI 5 м 20 V XI 22 V	XII 5 м 3 V XI 4 V	XII 5 м 9 VI дир XII 10 V	XIIa 5 м 27 VI XII 28 VI	

Еще более ясно это доказывается хранящимся в Британском музее знаменитым текстом, который был исследован Штрассмайером и Эппингом и назван ими «Канон Сароса» [13]. Это — обломанная с двух сторон табличка; она не содержит ничего, кроме расположенного в несколько колонок списка лет и месяцев, причем только двух названий месяцев за каждый год, без каких-либо комментариев. Годы представляют собой годы правления соответствующих царей, указанных первым слогом их имен: Артаксеркс II, Ох (Умасу), Арсес, Дарий, Александр, Филипп, Антигон, Селевк — последний из названных продолжил этот счет как счет годов эры Селевкидов до 35 г. э. с.; следовательно, эти годы охватывали период от 373 до 277 гг. до н. э. Месяцы указаны в каждой колонке римскими числами I—II—XII, увеличенными иногда на 6, иногда на 5. Там, где поставлен слог д и р [14], вставлен тринадцатый месяц; в этом случае видимый скачок составляет только 5 месяцев. Так как каждая колонка из 38 строк охватывает 223 месяца, то ясно, что это — список месяцев затмений, дополненный с обеих сторон месяцами без затмений. Серии разделены горизонтальными линиями, а слова «5 месяцев» указывают на пятимесячный интервал между группами. Внутри этих групп мы насчитываем 3, 8, 7, 8, 8, 4 строки; прибавляя 3 верхние строки к четырем нижним, мы получаем 8, 7, 8, 8, 7 — точно соответствующие нашим пяти сериям.

Здесь возникает вопрос: если имеется в виду 5 серий, то почему тогда последняя из них разделена на две части? Штрассмайер полагал, что объяснение можно найти в том, что период сароса не совсем точен. В нашем вычислении периодически изменяющихся расстояний полнолуния от узла оказалось, что через 5 серий, т. е. через 223 месяца, первое значение —14°,50 не вполне точно воспроизводится первым значением шестой серии —14°,97. В каждом периоде сароса полнолуние немного отодвигается назад, до тех пор, пока первое полнолуние из новой серии не придется на тот момент, когда его расстояние от узла станет весьма значительным, и пока не добавится новое значение, первоначально очень большое, в качестве последнего значения предшествующей серии. Тогда пятимесячный интервал смещается на одно место вперед, а линия раздела — на одну строку вниз. Это будет происходить в различных строках до тех пор, пока через 8 или 9 периодов сароса (150 лет) все не опустится на одно место вниз. Чтобы объяснить 3 строки списка, следует начать на 450 лет раньше. Штрассмайер, однако, предполагал, что 10 колонок этой таблички с левой стороны были обломаны, так что первоначально она отступала назад только до 572 г. до н. э.

«Канон Сароса» дает ясную картину того пути, по которому развивалась вавилонская наука. Он показывает, как из знания последовательности затмений в серии постепенно возникла и последовательность самих серий. Мы не знаем точной даты этого текста; он должен быть написан после 280 г. до н. э., так как в нем используется эра Селевкидов. Таким образом, постепенное развитие этого знания происходило во времена персидского господства, между шестым и третьим столетиями до н. э.

«Канон Сароса» является важным документом вавилонской науки. Он представляет собой не список отчасти наблюдений, отчасти вытекающих из них предсказаний, как многие другие тексты, а является формулировкой теории в виде таблицы, охватывающей одинаково как прошлое, так и будущее. Он объединяет множество древних и более поздних лунных затмений в одной краткой таблице, которую потенциально можно бесконечно продолжать в обоих направлениях. Это представление большой области явлений в виде абстрактной схемы показывает, каких удивительных высот достигла астрономическая наука.

Уместно задать вопрос, возможны ли такие предсказания также и для солнечных затмений? Их число для некоторых мест на Земле составляет только половину от числа лунных затмений; более того, покрытия небольших частей солнечного диска в дневное время не так легко заметить, как лунные затмения ночью. Кроме того, из-за параллакса их видимость более изменчива и найти в них закономерности значительно труднее. В отчетах астрологов встречаются указания на то, что солнечные затмения ожидались или иногда объявлялось об их наступлении, но на основании чего это делалось, мы не знаем. Солнечные затмения происходят за полмесяца или через полмесяца после лунных затмений, и они оказываются наиболее заметными (потому что за полмесяца Солнце продвигается почти на 15°) в годы между сериями лунных затмений. Так, могло быть замечено, что солнечные затмения происходят главным образом на полпути между интервалами в 41- или 47-месячной серии, следовательно, на $20^1/_2$ или на $23^1/_2$ месяца после полных лунных затмений. Но все это — догадки, а лучшую информацию можно получить только из новых текстов.

ГЛАВА 6

ХАЛДЕЙСКИЕ[1] ТАБЛИЦЫ

После смерти Александра Македонского и основания империи Селевкидов начался упадок Вавилона. Торговля Греции с Египтом и на Черном море захватила важную долю торговли Вавилона с Востоком и Западом уже в правление персидских царей, которые тщетно пытались подчинить себе этих конкурентов. В эллинистический период центр тяжести мировой торговли переместился на Средиземноморье. Новые греческие города, особенно процветающая Александрия, поддерживавшая через Красное море связи с Индией, превратились в богатые центры торговли и ремесел. Вавилон оказался теперь в стороне от новых торговых путей и утратил свое прежнее значение. Положение столицы государства занял греческий город Селевкия, а вскоре центром империи Селевкидов стала Сирия. Завоевание Месопотамии парфянами в 181 г. до н. э. полностью отрезало ее от Средиземноморья. В последние столетия до нашей эры Вавилон едва упоминался. Естественно, что Месопотамия как плодородная земледельческая страна в этот период и значительно позднее оставалась источником процветания для более мелких, издавна известных городских центров и вместе с тем была источником мощи для властвовавших там народов и правителей. Однако теперь она имела только местное значение.

Все эти изменения не сразу повлияли на науку. Всемирная история дает много примеров того, как однажды пробужденная сила традиций, методов и идей в области культуры и науки продолжала действовать на основании своей внутренней энергии и даже достигала наивысшего расцвета намного позже угасания экономической и политической жизни, давшей первый толчок ее развитию. То же произошло и здесь. В течение трех последних столетий до нашей эры астрономия продолжала постоянно развиваться и лишь в этот период достигла своего наивысшего расцвета. Отныне нельзя уже было говорить о вавилонской астрономии. Место Вавилона заняли бывшие древние столицы, другие города Месопотамии, известные еще до возникновения Вавилона, такие как Борсиппа, Урук, Сиппар. При раскопках в этих местах были

найдены черепки и фрагменты, раскрывшие перед нами картину наивысшей ступени развития халдейской науки.

Она представляет собой совершенно новую разновидность астрономической теории, которую мы встречаем впервые. Пока эфемериды, вычислявшиеся на каждый год, были вполне удовлетворительными для практических целей, должно было возникнуть стремление к выражению некоторых особых явлений, как, например, противостояний и стояний планет, для любого времени в самой общей форме, например в виде бесконечной таблицы. Здесь явления описывались не качественно, а почти количественно. Вместо положения в каком-либо созвездии или расстояния от той или иной звезды в *аммат* и *убани* теперь появились эклиптикальные координаты, т. е. долгота и широта.

Единицей измерения долгот были знаки зодиака ($^1/_{12}$ часть эклиптики), а также градус ($^1/_{30}$ ее часть) и его доли по шестидесятеричной системе.

Шестидесятеричная система чисел уже с древности служила вавилонянам отличным аппаратом при расчетах с астрономическими величинами. Цифры шли от 1 до 59 (5 крючков и 9 черточек), а каждая следующая была в 60 раз меньше единицы, выраженной предшествующей цифрой. Благодаря этому принципу, значению в зависимости от места (такому же, как и в нашей десятеричной системе) вавилоняне могли выражать сколь угодно большие числа — более высокими степенями 60 и сколь угодно малые числа — более высокими степенями $^1/_{60}$. Известные нам фрагменты астрономических таблиц не содержат почти ничего, кроме колонок и рядов чисел, иногда среди них встречаются изображения знаков зодиака и названия месяцев. Во многих случаях удавалось найти значение этих чисел по их величине и ходу, но иногда для того, чтобы выяснить смысл каждого числа, требовалось величайшее напряжение ума, долгие поиски и сотрудничество различных исследователей. Эти трудности особенно велики потому, что до нас дошли лишь многократные копии, содержащие ошибки, допущенные при переписывании, которые удается обнаружить только при самой расшифровке текстов.

Мы не знаем, откуда взялись эти таблицы и на каких наблюдениях они были основаны. Не исключено, что халдейские астрономы измеряли долготы звезд в знаках зодиака и к ним относили планеты. Можно предполагать также, что для измерения разности долгот вдоль эклиптики они пользовались тем или иным инструментом с разделенными кругами и приспособлением для визирования. Однако в клинописных табличках нет никаких упоминаний об инструментах и методах измерения[2]. Отсутствуют также и наблюдательные данные, которые можно было бы рассматривать как основу для составления подобных таблиц. Они предстают

перед нами в полном совершенстве, отделенные широкой бездной от наблюдений и теории предшествующих столетий. Хотя мы прекрасно понимаем, что они должны были базироваться на тщательных наблюдениях, дальнейший ход событий остается неясным.

Существует два вида этих таблиц — лунные и планетные. Их цель заключалась в представлении с общей точки зрения основных величин, служивших главным объектом наблюдения. Планетные таблицы дают расположенные в пяти соседних колонках особые явления: гелиакический восход, первое стояние, второе стояние и гелиакический заход. Для всей последовательности лет были даны день и долгота каждого из них со вспомогательными колонками для вычисления.

Данные лунных таблиц — время и место появления первого серпа и полнолуния — приводились в виде большого числа колонок со вспомогательными величинами. Лунные таблицы свидетельствуют об очень сложных и лишь отчасти понятных методах вычисления; планетные таблицы по сравнению с ними построены очень просто.

В связи с тем, что теперь вместо качественного описания положения среди созвездий появляется количественное определение этого положения по долготе, наблюдается в высшей степени важное чередование больших и меньших скоростей прямого движения. Противостояния, так же как и другие явления, следуют друг за другом по одну сторону эклиптики с возрастающими, а по другую — с уменьшающимися интервалами времени и долготы. Такие периодические изменения можно лучше всего изобразить волнистой линией — синусоидой. Греческие математики добивались этого, используя представление о движении в пространстве по эксцентрическим окружностям. Но халдейские наблюдатели не имели пространственного представления; для них то, что они видели на небе, было не пространственной вселенной с круговыми орбитами небесных тел, а плоской поверхностью, на которой описывали свои таинственно причудливые орбиты небесные светила. Халдейские астрономы не создали новой пространственной геометрической картины мира. Они были не философами и мыслителями, а жрецами, ограниченными традиционными религиозными ритуалами, и следовательно, не были склонны к восприятию новых идей, возникавших в борьбе со старым учением. Для них планеты были не небесными телами в мировом пространстве, а оставались светящимися божествами, движущимися по небу точно так же, как живые существа двигались по поверхности Земли. В начале всех до единой планетных и лунных таблиц стоит одна и та же сакраментальная фраза: «Во имя бога Бела и богини Белтис, моей госпожи, предзнаменование». Как типично жреческая наука, халдейская астрономия не могла выйти за пределы унаследованной от прежних поколений системы мира, но вместе с тем совершенное знание явлений и огромный наблюдательный материал требовали теоретического осмысления.

Так перед этими астрономами встала задача представления неравенств планетного движения при помощи чисто арифметических методов. Сначала они руководствовались простым, но грубым методом: предполагалось, что на одной части эклиптики скорость имеет бóльшую постоянную величину, а на другой части — меньшую. Но затем они пришли к представлению изменений скорости при помощи зигзагообразной линии, заключенной между двумя фиксированными границами, как между предельными значениями, к которым она равномерно то приближалась, то удалялась. У этих границ линия поворачивалась, внезапно изменяя направление на обратное. Ту же самую процедуру мы встречаем и в простых схематических таблицах раннеассирийского периода. Здесь недоставало представления о непрерывности, о равномерно замедленном возрастании, стоянии и начинающемся затем постоянно ускоряющемся убывании; изменение состояло в скачкообразном движении между тесными рядами чисел.

Ряды чисел могли служить здесь в качестве примера, взятого из фрагмента таблицы Юпитера (стр. 72, 73), представляющей последовательные долготы второго стояния, выраженные в зодиакальных знаках, градусах и минутах. Последовательные разности в следующей колонке представляют собой результирующие движения за синодический период. Глядя на их разности, приведенные в следующей колонке, мы видим, что эти движения регулярно возрастают или убывают на 1°48′. Вблизи предельных максимальных и минимальных значений необходимо провести вычисление: от 29°41′ до минимума $28°15^1/_2{}'$ убывание составляет лишь $1°25^1/_2{}'$; таким образом (прибавив 1°48′) получаем $0°22^1/_2{}'$. Теперь, используя это значение как возрастающее, получим следующее: $28°15^1/_2{}'+0°22^1/_2{}'=28°38'$. То же самое и на верхнем пределе 38°2′: возрастание на 0°24′ и затем уменьшение на 1°24′ (результирующее движение на 1°48′) опускает следующее значение на 1°0′ ниже предыдущего. На графике (рис. 3) все эти значения лежат на зигзагообразной линии.

Естественно, что плавную волнистую кривую — синусоиду, равномерно возрастающую и убывающую, нельзя совершенно точно представить в виде зигзагообразной линии. Величины отклонений можно видеть в трех последних колонках таблицы 2, основанных на замене зигзагообразной линии синусоидой с полуамплитудой 4°. Пятый столбец дает долготы, шестой — отклонения вавилонских долгот (2-й столбец) от этих сглаженных, последний — вычисленное движение. Из таблицы видно, что отклоне-

ния нигде не превосходят 20′. Большей точности наблюдений нельзя было и требовать в то время. В этом отношении халдейское теоретическое представление при помощи зигзагообразной линии так же хорошо, как и другие методы, применявшиеся в древности. Следовало только позаботиться о том, чтобы усредненные значения (средние из предельных значений) были совершенно точны, так как в противном случае постоянно возрастающие промежуточные движения с течением времени могли привести к накоплению больших ошибок.

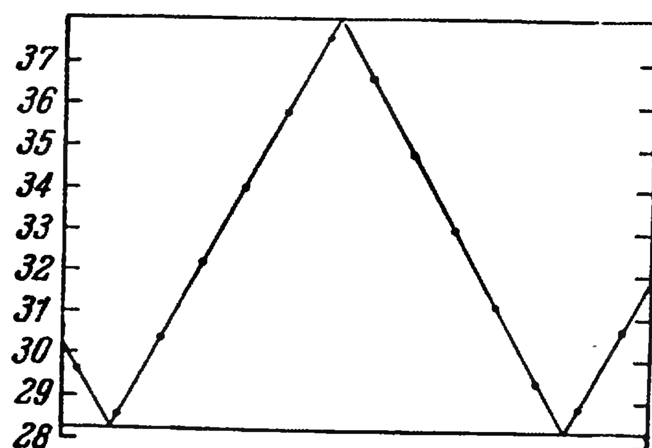


Рис. 3.

Глиняные таблички с текстами, из которых почерпнуты наши знания об этих планетных таблицах, представляют собой черепки, настолько поврежденные, что во многих местах их невозможно прочесть (упоминавшиеся выше колонки также сохранились лишь частично). Наибольшее количество материала относится к планете Юпитер. Это легко понять из того, что даты в следующих одна за другой строках повторяются с периодом, примерно равным одному году и 30 дням (13 месяцев и 10—20 дней), что составляет синодический период обращения Юпитера. Куглер, который первым полностью расшифровал эти планетные таблицы, разделил их на три типа. В первом, наиболее примитивном типе, для синодической дуги (т. е. дуги, пройденной за один синодический период) были приняты постоянные значения: в одной половине эклиптики 30° — между долготами 85° и 240° (т. е. на протяжении 155°), а в другой половине эклиптики — на остальных 205° (от 240° до 85°) — постоянное значение 36°. Обе части эклиптики должны быть неравными для того, чтобы можно было получить из полного обращения по эклиптике правильную среднюю синодическую дугу Юпитера, которая принималась равной 33°8′45″. Для дуги, лежащей как в одной, так и в другой части эклиптики, вычислялось промежуточное значение.

Из таблиц третьего типа для Юпитера сохранилось три фрагмента. Передняя часть одного из них воспроизведена на рис. 4, а перевод его цифр и названий — на стр. 72. Она может дать представление о виде и структуре таких таблиц. Месяцы обозначаются римскими цифрами от I до XIII [3]. Верхняя строчка таблицы читается следующим образом: 3, 10 означают в шестидесятеричном

Таблица 2

Долгота		Движение	Разность	Вычисленная синусоида	Уклонение	Движение
Рак	21°49′	29°41′		21°56′	—7′	29°19′
Лев	21 30	28 38	—1°3′	21 15	+15	29 11
Дева	20 8	30 26	+1 48	20 26	—18	30 4
Весы	20 34	32 14	+1 48	20 30	+4	31 59
Скорпион	22 48	34 2	+1 48	22 29	+19	34 16
Стрелец	26 50	35 50	+1 48	26 45	+5	36 11
Водолей	2 40	37 38	+1 48	2 56	—16	37 7
Рыбы	10 18	36 38	—1 0	10 3	+15	36 45
Овен	16 56	34 50	—1 48	16 48	+8	35 14
Телец	21 46	33 2	—1 48	22 2	—16	32 59
Близнецы	24 48	31 14	—1 48	25 1	—13	30 49
Рак	26 2	29 26	—1 48	25 50	+12	29 25
Лев	25 28	28 53	—0 33	25 15	+13	29 14
Дева	24 21	30 41	+1 48	24 29	—8	30 20
Весы	25 2			24 49	+13	

написании 190 г. эры Селевкидов; затем следует дата адару 11. Следующая колонка дает синодическую дугу в 31°29′, вычисленную при помощи зигзагообразной функции, как было указано в таблице 2. Затем следует долгота Рака 21°49′, которая находится сложением этой дуги с долготой предшествующей строки, не представленной в таблице. Прибавив следующую дугу 29°41′ к этой долготе, мы получим: Рак 21°49′ + 29°41′ = Лев 21°30′. Знаком *уш* в следующей колонке обозначено второе стояние. Затем идет следующая часть, содержащая данные для гелиакического захода (отмеченного знаком *шу* в следующей колонке). Она начинается с первой колонки (с величины 43, 45, 30 в шестидесятеричной системе), служащей, как и первая колонка предшествующей части, для вычисления дат; затем следуют год, дата, синодическая дуга и долгота так же, как и в первой части.

Эти таблицы третьего типа являются весьма точными, так как синодические дуги и временные интервалы дат непрерывно изменяются между верхним и нижним пределами. Эти пределы для дуг составляют 28°15½′ и 38°2′. Среднее арифметическое всех отдельных значений на всем протяжении — 33°8′45″ — идентично значениям, принятым в таблицах первого типа. Эти таблицы дают нам возможность получить больше деталей, относящихся к основным предположениям вавилонских астрономов. Подъем и спад

. . 30	3 10	XII 11	31 29	21 49	♋	уш	43 45 30	3 11	IV 22	30 39	5 47	♌	шу
. . 30	3 11	XIII 22	29 41	21 30	♌	»	41 57 30	3 12	V 4	28 51	4 38	♍	»
. .	3 13	II 4	28 38	20 8	♍	»	40 32	3 13	VI 14	29 .	6	♎	»
42 31	. .	III 16	30 26	20 34	♎	»	42 20	3 14	VII 27	. .			
. .	. .	. 1	32 14	22 48	♏	»	44 8	3 15	VIII 11	. .			
46 7	3 16	V 17	34 2	26 50	♐	»	45 56	3 16	IX 27	34 52			
47 55	3 17	VII 5	35 50	2 40	♒	»	47 44	3 17	XI 14	36 40			
49 43	3 18	VII 25	37 38	10 18	♓	»	49 32	3 .	. .	37 36			
48 43 30	3 19	IX 13	36 38	16 56	♈	»	48 54 30	3 19	. .	35 48			
46 55 30	3 20	IX 30	34 50	21 46	♉	»	47 6 30	3 21	II 10	34 0			
45 7 30	3 21	XI 15	33 2	24 48	♊	»	45 18 30	3 22	III 25	32			
43 19 30	3 22	XII 28	31 14	26 2	♋	»	43 30 30	3 23	IV 9				
41 31 30	3 24	I 10	29 26	25 28	♌	»	41 42 30	3 24					
40 58	3 25	II 21	28 53	24 21	♍	»	40 47	3 25					
42 46	3 26	III 4	30 41	25 2	♎	»	42						
44 34	3 27	IV 18	32 29	27 31	♏	»							
46 22	3 28	VI 4	34 17	1 48	♑								
48 10	3 29	VI 23	36 5										
49 58	3 30	VIII 13	37 53										
48 28 30	3 31	IX 1	36 .										
46 40 30	3 32	X 18	34 .										
44 52 30	3 33	XII 3	.										
43 4 30	3 34	XIII 16											
41 16 30	3 36	I 27											
41 13	3 37	II											

зигзагообразной линии, после чего скорость возвращается к прежнему значению, соответствуют одному обращению планеты. Подъем и спад, т. е. амплитуда, составляют величину, равную удвоенному расстоянию между двумя пределами — максимумом и минимумом: $2 \times 9°46^1/_2{}' = 19°33'$. Один шаг в 1°48′ соответствует

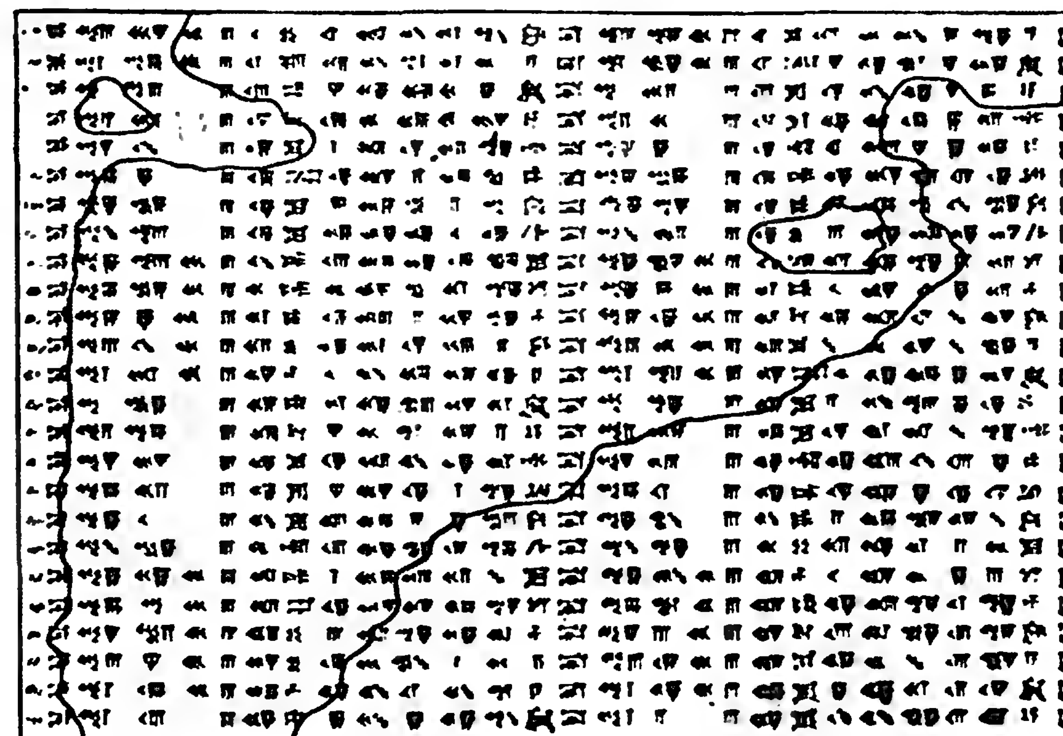


Рис. 4.

одному синодическому периоду. Следовательно, одно обращение составляет $19°33' : 1°48' = 10\frac{31}{36}$ синодических периодов. Другими словами: 391 синодический период равен 36 обращениям, что составляет 391 + 36 = 427 лет. Это — более точное приближение, чем то, которое было дано выше (стр. 57) для планетного периода. Однако его можно вывести из приведенных здесь данных, если мы возьмем 6 раз по 65 периодов, каждый из которых составляет 6 обращений минус 5°33′, и увеличим его на 1 период; или если мы возьмем 5 раз по 76 периодов минус 0°57′ и увеличим его на 11 периодов, составляющих 1 обращение*). Синодическая дуга определяется делением 360° на число периодов: $^{391}/_{36}$. Эта дуга

*) Наглядно это можно представить так:

6×65 пер. + 1 пер. = 6 (6 обр. — 5°33′),
5×76 пер. + 11 пер. = 5 (7 обр. — 0°57′)

или

391 пер. = 36 обр. — $6 \times 5°33'$,
391 пер. = 35 обр. — $5 \times 0°57'$. *(Прим. перев.)*

равна 33°8′44″,8; для нее использованное выше значение 33°8′45″ является удовлетворительным приближением.

Продолжительность синодического периода, т. е. интервал времени между двумя последовательными строками таблицы (в первой колонке каждой части), вычислена на основании того же самого принципа. Эти величины представлены зигзагообразными функциями, возрастающими и убывающими шагами в 1,48 между пределами 50, 7, 15 и 40, 20, 45 (числа выражены в шестидесятеричной системе), что дает разность (в днях) в 9, 46, 30 — то же самое число для дуг (в градусах). Эти периоды были использованы для вычисления дат. Здесь вавилонские астрономы встретились со значительными трудностями. Они не могли узнать, какова будет продолжительность месяцев в следующие годы — 29 или 30 дней, поэтому и число дней в будущем оказывалось совершенно неопределенным. Однако число месяцев в 19-летнем календарном периоде было определенным. Таким образом, вавилонские астрономы придумали следующий простой метод: они брали 30 дней для каждого месяца. Это означало, что они оперировали с фиктивными днями, равными $^1/_{30}$ месяца, что несколько меньше реального дня. Небольшие отклонения во времени, которое выражалось таким образом с ошибкой самое большее в полдня (по сравнению с действительными датами), не имели значения, так как моменты гелиакического восхода и захода или стояний — даже противостояний,— не могли быть фиксированы с большей точностью. Необходимо затем увеличить средний избыток периода Юпитера над 12 лунными месяцами, т. е. 44,53 дня (в десятеричной системе) до величины в 45,23, выраженной в этих фиктивных днях, и прибавить их к каждой следующей строке таблицы. Действительно, мы находим, что среднее между верхним и нижним предельными значениями равно $^1/_2$ (50, 7, 15 + 40, 20, 45) = 45,14 — то же самое значение в шестидесятеричном написании.

Точность таблиц Юпитера второго типа, известных нам по большому количеству фрагментов, занимает промежуточное положение между точностью двух других типов таблиц. Синодическая дуга для противоположных частей эклиптики снова выбиралась равной 30° и 36°, но лишь на протяжении небольших интервалов в 120° и 135° по долготе. В промежуточных частях, удаленных по долготе более чем на 53° и 52°, принималось промежуточное значение в 33°45′. Таким образом, уменьшались ошибки, остающиеся в пограничных областях при использовании первого метода. Следует упомянуть, что помимо таблиц был найден также и «процедурный текст», целиком состоящий из указаний, как вычислять такие таблицы второго типа. Эти указания несомненно предназначались для писцов или учеников при храме.

Приведенные выше утверждения о точности халдейских таблиц касаются только формальной точности, которая может быть достигнута при помощи этого метода, а не той точности, которая получается в действительности. Реальные ошибки могут быть значительно больше из-за несовершенного знания основных величин, на которых основаны эти таблицы. В долготе второго стояния Юпитера (таблицы третьего типа) часто встречаются ошибки, превосходящие $1^1/_2$°. Это происходит не потому, что не годится сама по себе зигзагообразная линия, а из-за большой удаленности первого граничного значения, и также потому, что для мест с наименьшей скоростью была принята долгота 150° вместо более правильного значения 160°. Для практического использования примитивный теоретический метод сведения эфемерид к предшествующим годам мог бы дать и более точные результаты. Но и само наличие таблиц уже свидетельствовало о более высокой ступени теоретического мастерства.

Аналогичные, хотя и менее совершенные таблицы, были найдены также и для других планет. Для Сатурна известен лишь небольшой фрагмент таблиц третьего типа, содержащий противостояния от 155 до 167 гг. эры Селевкидов. Эти таблицы основаны на следующем соотношении: 9 обращений = 256 синодическим периодам = 265 годам. Для Марса найден текст из Урука, который замечателен тем, что значительные изменения в скорости этой планеты представлены здесь на основании более последовательно проведенного принципа таблиц второго типа. Эклиптика была разделена на 6 равных частей по 60° по долготе, в которых синодическая дуга получала каждый раз иное значение, прыгая от 90° в Козероге и Водолее, через $67^1/_2$° в Рыбах и Овне, 45° в Тельце и Близнецах, до 30° в Раке и Льве, а затем снова через 40° в Деве и Весах и 60° в Скорпионе и Стрельце до 90°. Если, например, синодическая дуга начинается от 10° Водолея, тогда 20° ($^2/_9$ полной дуги) будет в Водолее, а остаток дуги — в следующей части эклиптики, в пределах $67^1/_2° \times {}^7/_9 = 52^1/_2°$. Следовательно, конец синодической дуги окажется за пределами Рыб — в 22°30′ Тельца. Вычисляя, сколько синодических дуг содержится в одной небесной окружности, получим из этих шести простых округленных чисел величину 133 : 18. Марс за один синодический период описывает полную окружность эклиптики плюс синодическая дуга. Следовательно, за 133 своих синодических периода он сделает 151 обращение, занимающее 133 + 151 = 284 года. Это соотношение более точно, чем соотношения, приводившиеся в таблице на стр. 57. Это — действительно лучшее значение, которое мы можем вывести при помощи непрерывных дробей, используя современное значение периодов. То же самое справедливо и для большого периода Сатурна.

Для Венеры существует несколько фрагментов таблиц, дающих ее появления, стояния и исчезновения как утренние, так и вечерние. Так как эти явления повторяются через каждые 8 лет, лишь с небольшим уменьшением долготы на 2°40′, из них невозможно вывести правила для синодических дуг.

Несколько текстов сохранилось также и для Меркурия, который как из-за неравенств в его движении, так и из-за плохой видимости (он виден только в течение короткого времени и то в самые сумерки) на протяжении всех столетий оставался наиболее трудной для наблюдений планетой. Однако во многих местах эти тексты невозможно прочесть. Они дают день и место появлений и исчезновений планеты как вечерних, так и утренних в годах эры Селевкидов от 145 до 153 г. и от 170 до 185 г. Куглер нашел, что методы, применявшиеся для вычисления появлений Меркурия, использовались также и для других планет. Для трех частей эклиптики брались различные постоянные значения синодических дуг. Они составляли 106° для долгот от 121° до 286°; $141^1/_3°$ (равное $106° \times {}^4/_3$) для долготы от 286° до 60° и $94^2/_9°$ (равное $106° \times {}^8/_9$) для долгот от 60° до 121°. Это — любопытный асимметричный ход; но полученное отсюда усредненное значение синодической дуги, а именно: $360° \times {}^{848}/_{2673} = 114°12'31^1/_2''$, всего на 4″ меньше истинного значения, и соответствующий синодический период $115^d\ 21^h\ 3^m\ 51^s$ более точен, чем можно было ожидать даже после многовековых наблюдений. Затем из положений появлений вычислялись моменты и положения исчезновений; к ним добавлялись условия видимости вместе с изменением знака зодиака, но только между 44° и 12°. Хорошо еще, что у этой планеты ошибки такого рода растут медленно. Сравнение с современными расчетами выявило ошибки, в сумме доходящие до 10°, однако обычно не превышающие двух градусов. Принимая во внимание трудности наблюдений, следует отметить, что это — прекрасная точность, однако дерзкая попытка решить вопрос относительно Меркурия при помощи тех же самых теоретических принципов, как и раньше, потерпела неудачу; здесь все еще оставалось много трудностей.

Все эти исследованные Куглером планетные таблицы, как выяснилось впоследствии, были извлечены из руин одного храма в городе Вавилоне. Таблички, найденные позднее при раскопках в Уруке, подтвердили его результаты, а в некоторых случаях дополнили их отдельными подробностями.

Следует добавить, что в халдейской астрономии употреблялись не только планетные таблицы. Была найдена также и табличка, содержащая вычисления долгот Юпитера для всех последовательных дней на несколько месяцев 147—148 гг. эры Селевкидов, включая и стояние как максимум [4]. Суточные движения, из которых они получались суммированием, сами вычислялись суммированием рядов из правильно возрастающих величин. Таким образом, долготы ложатся на кривую третьего порядка, охватывающую две точки стояния и промежуточное попятное движение.

А теперь о Луне. При рассмотрении халдейских лунных таблиц обращает на себя внимание сложность их строения, т. е. высокий уровень знания неравенств лунного движения. Но едва ли менее удивительной следует признать проницательность и настойчивость, с которой современные исследователи (главным образом три патера: Эппинг, Куглер и Шаумбергер), работая последовательно с 1889 по 1935 г., сумели заново возродить эту науку по нескольким черепкам, покрытым почти неразборчивыми иероглифическими надписями. Были выявлены два разных типа таблиц и две системы их вычисления. Один тип, относящийся, правда, к более позднему периоду, примерно к 180 г. эры Селевкидов (130 г. н. э.), стал известен по собранной из кусочков большой таблице, которая состоит из 18 различных колонок цифр для вычисления необходимых величин. Другой, относящийся к более раннему периоду (140 г. э. с.) и во всех отношениях более примитивный тип таблиц состоял из множества маленьких кусочков, каждый из которых содержал только пару колонок за короткий промежуток времени, так что нигде не удавалось найти строчку, которая могла бы показать ход вычисления с начала и до конца. И все же удалось, комбинируя эти фрагменты, восстановить весь ход вычисления, причем в качестве вспомогательного средства контроля использовались две таблицы затмений, относящиеся к той же самой системе, а также «учебный текст» с инструкциями для вычисления.

Ход вычисления заключался в следующем. Сначала вычислялись время и положения точных соединений Солнца с Луной или (чаще всего, на обороте той же самой таблички) противостояний, т. е. полнолуний. Из соединений (которые мы называем «новолуниями») обычно выводились (с учетом различных поправок) день и обстоятельства появления нового лунного серпа. Между тем предвычисление затмений проводилось иначе — на основании изучения движения Луны по широте, причем для солнечных затмений так же, как и для лунных.

Трудность задачи состояла в необходимости определять соединения Солнца и Луны, которые перемещались по эклиптике с различными скоростями. Если одно небесное тело (в данном случае Луна) движется быстро, а другое (в данном случае Солнце) — медленно, то место их встречи зависит главным образом от медленного тела, тогда как время встречи — от быстрого. Указанием на то, что древневавилонские астрономы понимали это, может служить то, что они делили весь процесс вычисления на этапы,

рассматривая их как отдельные компоненты. Вычисление начиналось прежде всего с расчета неравномерности солнечного движения, мест соединений и противостояний, т. е. долгот полной и новой Луны на эклиптике. Отсюда выводились все величины, зависящие от этих долгот. Затем, для того чтобы найти промежуток времени между последовательными новолуниями и полнолуниями, учитывались неравенства в движении Луны.

Суточное изменение скорости Солнца показано в первых колонках этих таблиц, которые дают долготы новолуния или полнолуния. Таким образом, в более старой системе применялся тот же самый, но только более грубый метод, чем в планетных таблицах первого типа, по которому для перемещения Солнца в одной половине эклиптики принималось постоянное большее значение (30° в месяц), а в другой — постоянное меньшее ($28^1/_8{}^\circ = 30^\circ \times {}^{15}/_{16}$). Для того чтобы получить хорошо усредненную скорость, предполагалось, что две половины эклиптики имеют неравную длину; считалось, что по 30° Солнце перемещается между 163° и 357° долготы, а $28^1/_8{}^\circ$ — между 357° и 163°. Отсюда получалось, что $12^{83}/_{225}$ синодических месяцев равны одному обращению Солнца по эклиптике. Из продолжительности среднего синодического месяца в $29^d12^h44^m3^1/_3{}^s$ (см. ниже) следует, что Солнце совершает одно обращение по эклиптике за $365^d6^h15^m19^s$, что на 6^m8^s больше истинного значения. Это — период обращения Солнца относительно звезд (сидерический год). Календарное соотношение — $12^7/_{19}$ месяца в году — дает таким же образом продолжительность тропического года в $365^d5^h55^m25^s$.

На вопрос, как эти астрономы узнали о том, что скорость Солнца переменна, можно ответить, что они могли вывести ее из неравной длины времен года.

По свидетельству греков, вавилоняне использовали вертикальный шест для измерения длины тени; следовательно, они могли определить моменты солнцестояний, и как средние точки между солнцестояниями — моменты весеннего и осеннего равноденствий. На основании вавилонской теории двух переменно действующих постоянных величин мы вычисляем для весны и осени, расположенных целиком в пределах медленной и быстрой частей,— 94,5 и 88,6 дня. И обратно, используя то же самое соотношение, вавилоняне, должно быть, могли вычислять свои теоретические данные относительно изменений скорости по наблюдавшейся продолжительности сезонов.

Более поздняя и менее примитивная система похожа на систему планетных таблиц третьего типа. Различия в долготе между последовательными новолуниями и полнолуниями правильно возрастают и убывают. Они выражались при помощи зигзагообразных функций, пробегающих свои значения между верхним и нижним пределами. Эти пределы таковы: 30°1′59″ и $28°10'39^2/_3{}''$; их разность (амплитуда) составляет $1°51'19^1/_3{}''$. Среднее арифметическое этих пределов равно $29°6'19^1/_3{}''$, один шаг составляет 0°18′. Эти данные позволяют нам вывести использованные вавилонянами периоды. Число синодических периодов в году равно числу шагов, содержащихся в удвоенной амплитуде, т. е. в отрезке зигзагообразной линии от одного максимума до следующего. Это число равно $2 \times 1°51'19^1/_3{}'' : 0°18' = 12^{299}/_{810}$. Полученный результат, кроме того, показывает, сколько раз средняя дуга в $29°6'19^1/_3{}''$ содержится в целой окружности из 360°. Однако в обоих случаях результат не будет совершенно одинаковым. Первый результат — это число возвращений к тому же самому пределу скорости, а второй — это возвращение к той же самой долготе. Таким образом, если умножить среднюю синодическую дугу на отношение $12^{299}/_{810}$, результат не будет равен 360°, а окажется на 29″,8 больше. Могли ли эти древние астрономы знать, что долгота точки, в которой скорость Солнца достигает максимума, медленно возрастает? Если да, то они приняли слишком большое возрастание. В действительности оно составляет всего 11″,8 в год. По современным данным синодическая дуга равна 29°6′20″,2, а вавилонское значение — всего на $^1/_{120\,000}$ меньше, так что ошибка в 1° накапливается только через 300 лет.

Полученные таким образом долготы Солнца для последовательных новолуний и полнолуний использовались при вычислении некоторых величин, зависящих от этой долготы. Среди них — продолжительность дня, т. е. промежуток между восходом и закатом Солнца. Процедурный текст древней системы указывает, что продолжительность дня изменяется в зависимости от времени года в следующих пределах: от 14^h24^m летом до 9^h36^m зимой. Это утверждение любопытно тем, что оно не соответствует хорошо известной широте Вавилона — 32°30′, для которой эти пределы должны были составлять 14^h11^m и $9^h\ 49^m$. Предположение, что в далеком прошлом город, или хотя бы его святилище, были расположены на 2° севернее, а традиция сохранила более ранние значения, следует признать фантастическим объяснением. Более естественное, хотя едва ли удовлетворительное объяснение состоит в том, что из-за конечности видимого диаметра Солнца, атмосферной рефракции и понижения горизонта для высоких башен продолжительность дня во время летнего солнцестояния завышалась, а для менее хорошо наблюдавшегося зимнего солнцестояния было принято симметричное значение[5]. Возможно, что простое отношение этих величин 3 : 2 осталось в наследство от периода примитивных знаний. Замечательно также и первое правило в процедурном тексте, которое гласит: «в 10° Овна продолжительность составляет 12 часов; для каждого следующего градуса ты будешь прибавлять

по 160 секунд» и т. д., по строчке для каждого зодиакального созвездия. Это высказывание дает возможность предполагать, что весеннее равноденствие приходилось на 10° Овна. В двух других текстах более поздней системы оно попадало на 8° и на 8°15′. Халдейские астрономы отсчитывали долготы не так, как мы (от точки весеннего равноденствия), а от принятого за начало первого зодиакального созвездия, либо, возможно, от той или иной определенной звезды. Но из-за прецессии — попятного движения точки весеннего равноденствия — положение этой точки изменялось, и поэтому таблицы в различные периоды должны были принимать для нее каждый раз иное значение.

Часто вызывал удивление тот факт, что вавилонские астрономы, несмотря на многовековые наблюдения, не заметили прецессию, предоставив это открытие грекам, которые заимствовали у них так много других данных. Следует, однако, иметь в виду, что в целом склад ума вавилонян не способствовал открытию новых явлений. Они видели свою задачу в том, чтобы с религиозной самоотверженностью и пристальным вниманием наблюдать и изучать орбиты небесных тел с тем, чтобы в последующие годы можно было предвычислять их «для праздничных жертвоприношений». Если бы даже они заметили, что точки равноденствия (которые, впрочем, занимали в их вычислениях лишь второстепенное место) сместились по сравнению с данными прежних наблюдений, то и это ничего не дало бы для объяснения особого явления равномерного смещения точки весеннего равноденствия.

Вернемся теперь к основной линии изложения, которая должна привести нас к вычислению моментов полнолуния и новолуния. Из-за того, что перигей лунной орбиты движется в направлении знаков зодиака, обращение, при котором происходит возвращение к наибольшей скорости (так называемый аномалистический период), будет больше истинного (звездного) обращения, а именно $27^d13^h18^m37^s,4$. В таблицах обеих систем для этого вычисления дается несколько колонок, в которых величины обычно пробегают все значения на зигзагообразной линии. В поздней системе мы находим колонку, отмечающую продолжительность последовательных синодических месяцев, т. е. интервал времени от одного полнолуния или новолуния до следующего. Они располагаются на правильной зигзагообразной линии с точками возврата $29^d17^h57^m48^1/_3{}^s$ и $29^d7^h30^m18^1/_3{}^s$ и шагом в 1^h30^m. Среднее из предельных значений есть усредненный синодический период $29^d12^h44^m3^1/_3{}^s$, который мог определяться с точностью до одной секунды по затмениям на основе наблюдений, накопленных за 5 столетий; выше мы уже применяли его. Это и есть то точное значение, определение которого Птолемей приписывал впоследствии Гиппарху, но которое, очевидно, было известно еще в Вавилоне. Разность между

предельными значениями составляет $10^h27^m30^s$; число шагов в подъеме и спаде линии равно $20^h55^m : 1^h30^m = 13^{17}/_{18} = {}^{251}/_{18}$. Один шаг в таблице означает, что от одного новолуния до следующего Луна, проходя через апогей и перигей, совершает не одно обращение, а несколько больше (на $^1/_{14}$).

Когда Луна совершит 14 обращений, вся орбита пробежит на одно синодическое обращение больше, а когда Луна сделает 251 обращение, перигей сделает на 18 обращений больше, т. е. всего 269 аномалистических обращений. Это и есть то самое точное соотношение, которое Птолемей приписывал Гиппарху. Оно дает для аномалистического периода $27^d13^h18^m34^s,75$, что всего на $2^s,7$ отличается от современного значения.

[Для последующего введения поправок необходимы также скорость самой Луны и расстояние, которое она проходит за день. Естественно, что эти величины входили в тот же самый период подъема и спада; предельные значения, т. е. точки перегиба кривой, равнялись 15°16′5″ и 11°5′5″ с шагом в 0°36′; среднесуточное движение таким образом составляло 13°10′35″, истинное, неокругленное значение 13°10′34″,88, а число шагов в подъеме и спаде кривой $^{251}/_{18}$ находилось так же, как было показано выше.]

Теперь, до определения продолжительности месяца, которую каждый раз надо прибавлять, чтобы получить моменты полнолуния и новолуния, необходимо ввести еще одну поправку за изменение скорости Солнца. Путь, который Солнце может пройти за месяц, как мы уже сказали, отклоняется примерно на 1° в ту или другую сторону от среднего пути, который Луна проходит за 2 часа. Затем следует еще несколько колонок для вычисления этой поправки, которая изменяется в пределах от 4 до $-2^h9^m52^s$.

Теперь все уже подготовлено, и можно начать вычисление моментов последовательных полнолуний или новолуний, прибавляя найденную продолжительность каждого следующего месяца к предшествующим моментам. За начальную эпоху можно было принять момент какого-либо хорошо наблюдавшегося затмения. Следует отметить, что все расчеты велись в равных астрономических днях, начинавшихся с полуночи.

Основной целью этого длительного вычисления было определение момента начала каждого следующего месяца. Для этого приводилось еще пять колонок. Сначала определялся промежуток времени между найденным моментом новолуния и моментом захода Солнца на следующий день, который примерно совпадал с ожидавшимся моментом появления серпа новой Луны. Зная скорость Солнца и Луны, можно было найти разность их долгот в момент захода Солнца. Однако это — не единственное решение вопроса о том, будет ли серп Луны виден в данный вечер или на следующий. Важно знать, насколько Луна заходит позже Солнца, а разность

моментов захода зависит также от величины наклона эклиптики к горизонту и от того, как далеко Луна отклоняется к северу или к югу от эклиптики, т. е. от широты Луны. Вводившиеся в таких случаях поправки вычислялись с точностью до 1 минуты, что следует признать вполне достаточным. В результате этих вычислений было найдено время, в течение которого Луна в первый день месяца находилась над горизонтом после захода Солнца.

Таким образом, цель была достигнута, так как теперь удалось количественно, при помощи числовых расчетов, дать теоретическое обоснование тому явлению, которое уже издавна служило важным объектом наблюдения вавилонских астрономов. Аналогично, считая назад от того же самого соединения, можно вывести время видимости исчезнувшего за $1^1/_2$ дня до этого утреннего серпа.

Нет необходимости распространяться о таблицах, основанных на старой системе вычисления, которая более примитивна и в то же время более сложна. Однако интересно отметить, что сохранились не только отдельные экземпляры многочисленных колонок и таблиц, но также и учебный текст, вероятно, предназначавшийся для учеников и вычислителей, которые должны были пользоваться подробными указаниями этого текста при проведении вычислений. Здесь давались вавилонские названия тех величин, которые встречаются в таблицах только в своем численном выражении. С точки зрения лингвистики любопытно, что движения Солнца и Луны, т. е. путь, который они проходят за сутки, выражались словами: *Зи ша Шамаш* и *Зи ша Син*, что означает буквально «жизнь бога Солнца» и «жизнь бога луны». Для жрецов-астрономов перемещение Солнца и Луны по небу — то ускорявшееся, то замедлявшееся — было видимым проявлением жизни светил-богов. Однако это не мешало им подвергать «жизнь богов» точному количественному измерению, выражавшемуся в числах с шестью десятичными знаками (в шестидесятеричной системе), что не свидетельствовало, однако, о точности измерений до тысячных и миллионных долей, а было вызвано тем, что в вавилонской шестидесятеричной системе необходимую для расчетов дробь $^{16}/_{243}$ можно было записать только в виде такого длинного числа. Перед халдейскими астрономами возникла также трудная задача: вывести продолжительность месяца из колонки переменных скоростей, т. е., собственно говоря, проблема интегрирования обратных дробей. И они успешно справились с этой задачей, хотя решили ее очень сложным путем, разделив весь процесс вычисления на маленькие кусочки, т. е. тем методом, который в современной математике называется методом «механических квадратур». Однако в колонках этих таблиц остается еще много неразгаданных чисел.

Наряду с выводом момента начала нового месяца, другой целью вавилонских астрономов было вычисление затмений. Затме-

ния зависят от широты Луны. Поэтому в таблицы включалось несколько колонок, служивших для вычисления широты. Из-за сложности устройства эти таблицы представляли огромные трудности для современных исследователей, особенно таблицы более старого типа, которые были почти полностью разгаданы только Отто Нейгебауэром при помощи специальных математических методов вычисления. Очевидно, вавилоняне очень хорошо понимали, что представление плавно, волнообразно изменяющейся широты в виде остроугольной зигзагообразной линии не было удовлетворительным; если предельные значения совпадали, наклон линии узлов получался в $1^1/_2$ раза меньше, а для предсказания затмения именно в этом месте необходима точная широта. Если же брали подходящее значение наклона кривой, широта у вершин становилась значительно больше, и ошибки получались в тех случаях, когда широта использовалась для вычисления появлений вечернего серпа. Поэтому таблицы давали теперь ломаную зигзагообразную линию (рис. 5), которая имела вдвое больший наклон в верхней и нижней частях линии у точки ее пересечения с эклиптикой (по направлению к узлам). Взяв за основу простую зигзагообразную линию в пределах от +6 до —6, получали по ней для чисел, расположенных ниже $1^1/_5$, удвоенные значения, а для чисел, расположенных выше $1^1/_5$, во столько же раз уменьшенные. При этом не указано, какая единица измерения здесь использована. Чтобы получить известную нам предельную (для затмения) широту Луны в 5°, следует принять за единицу $^{25}/_{36}$ градуса, что составляет примерно $^1/_3$ уже упоминавшейся выше *аммат*, величина которой должна находиться в пределах от 2° до 2,5°.

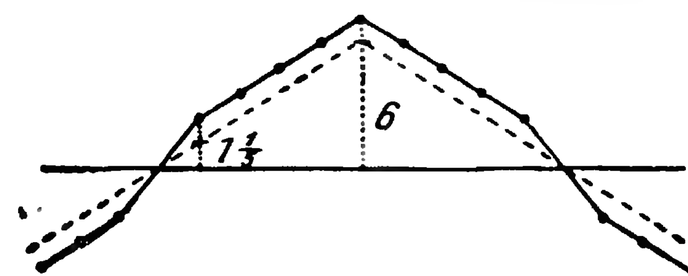


Рис. 5.

Поскольку узлы регулярно отступают назад, моменты полнолуний и новолуний, широты которых необходимо определить, из-за неравномерного движения Солнца отделены друг от друга неравными интервалами. В этой системе вычисления движение Солнца за месяц скачкообразно изменяется за полгода от значения 30° (на 194° эклиптики) до $28^1/_8$° (на 166° эклиптики). Это удавалось учитывать, давая основной зигзагообразной линии через каждые полгода то меньший, то больший наклон, в соотношении 16 : 15. Понятно, насколько сложно было проводить такое вычисление, если уже сама основная зигзагообразная линия (полуволна) состояла из отрезков не прямой, а ломаной линии. Теперь можно

6*

тем же самым методом, как и раньше, вывести периоды, которые лежат в основе таблиц. Среднее значение шага за синодический месяц равно 2, 2, 40, 58; оно выражено в тех же самых единицах, которых в одной амплитуде (между +6 и —6) содержится 24. Это означает, что за 24 драконических периода узел попятным движением проходит 26, 2, 40, 58 синодических периодов. Это не простое соотношение сароса: 223 : 242; оно точнее и ближе к истине. Вавилоняне давали соотношение 223,00112 : 242, тогда как истинное соотношение, вычисленное по современным данным, равно 223,00121 : 242. Знание погрешности в отношении сароса в то время не удивительно, так как мы показали выше, что в третьем веке до нашей эры уже была известна неточность этого периода.

Можно даже добавить, что в поздней системе найдено еще более точное соотношение. Здесь 1 шаг укладывается в одном зигзаге $^{5458}/_{465}$ раза, следовательно, отношение драконического периода к синодическому составляет 5458 : 5923. Это именно то соотношение, вывод которого Птолемей приписывал Гиппарху. Оно совпадает с 223,00118 : 242, что говорит о прогрессе в основах теории.

Однако смысл и назначение многих величин, входящих в более сложно построенные таблицы широт этой поздней системы, еще неясен. К тому же у нас нет особых таблиц затмений для этой системы.

Но зато мы можем полностью проследить процесс вычисления затмения в более старой системе. В некоторых фрагментах за колонкой широт идет колонка, оставшаяся почти пустой; числа стоят только в каждой шестой строке, как раз там, где значение широты наименьшее и может произойти затмение. Этот индекс затмения, как его можно назвать, выводится следующим образом. Широта Луны перед узлом вычитается из числа 1, 44, 24 в шестидесятеричной системе (что приблизительно совпадает с вышеупомянутой единицей измерения широты 1°12′), а после узла прибавляется к тому же значению. Затем полученный результат умножается на 10, т. е. совершается переход к единице, в 10 раз меньшей. Теперь величина 1°12′ оказывается несколько больше суммы радиусов Луны и тени Земли. Если широта Луны перед узлом будет равна этой сумме, то диск Луны будет касаться круга тени, и при индексе затмения, равном нулю, затмение становится возможным. В действительности эти пределы брались несколько более широкими, чтобы не пропустить затмения из-за колебаний в видимых размерах Луны и земной тени. Индекс затмения указывает, насколько глубоко Луна погружается в тень, причем выражается это в единицах, составляющих примерно $^1/_8$ лунного диаметра.

Таблица индексов начинается с нуля или небольших отрицательных величин, возрастает до значения 10×1, 44, 24=17, 24, 0, соответствующего нулевой широте, почти доходя до затмения в узле, а затем до удвоенного значения 34, 48, 0, указывая границу, при которой другая сторона Луны выходит за пределы тени, и затмение становится невозможным.

Такой список всех последовательных затмений и «почти затмений» существует для периода, охватывающего годы эры Селевкидов от 138 до 160 г. Его изучал О. Нейгебауэр. Перевод этого списка приведен в помещенной на стр. 86 таблице. Первые столбцы дают год и месяц, долготу на эклиптике и широту Луны. Затем следуют два иероглифа *у* и *лал*, которые означают «вверх» и «вниз», или «положительный» и «отрицательный», и которые могут быть лучше всего выражены нашими «плюсом» и «минусом». Первый иероглиф указывает северную или южную широту Луны, второй отмечает положение Луны вблизи восходящего или нисходящего узла. Легко видеть, что комбинация +— или —+ означает: перед узлом, а комбинация ++ или —— означает: после узла. «Индексы затмений» в последней колонке найдены по данному выше правилу [6].

Этот список, если взять только первую и последнюю колонки, имеет некоторое сходство с «Каноном Сароса», относящимся к предшествующему периоду. Этот список представляет собой более высокий уровень знания, потому что, кроме года и месяца (только устанавливающих, что затмение можно ожидать), в нем приводится «индекс затмения», дающий представление о характере затмения. Когда этот «индекс затмения» между 12 и 23, затмение полное, а его продолжительность больше, чем продолжительность тех затмений, индекс которых ближе к 17 или 18. Для величин выше 23 и ниже 12 затмение частное. Если они ниже нуля или выше 35, то затмения не будет. В дальнейших качественных описаниях этих таблиц нет необходимости.

В индексах затмений приведенной ниже таблицы наглядно видны вариации в движении Солнца. Нерегулярности, найденные в вычисленных величинах, приводившихся выше (стр. 62), повторяются таким же точно образом и в этих вавилонских результатах. В направленном вверх ходе этих величин бо́льшие значения несколько раз предшествуют меньшим. До некоторой степени нерегулярности увеличиваются здесь за счет примитивного метода внезапных скачков скорости Солнца. Эти таблицы выразительно показывают, как высоко поднялась над прежним уровнем «Канона Сароса» халдейская астрономия в числовом и теоретическом контроле над явлениями затмения.

Таким образом, мы видим, как в Древнем Двуречье в результате более чем тысячелетнего развития возникла астрономия с хоро-

Таблица 3

ЗАТМЕНИЯ ЛУНЫ

Год, число и месяц			Долгота				Широта				Индекс затмения				
2	18	I	9	52	30	♏	1	7	39	48	+	+	28	40	38
		VII	1	40		♉	1	17	8	12	—	—	30	15	22
	5м	XII	1	22	30	♎	1	42	34	48	—	+	0	18	12
2	19	VI	20	36		♓	1	53	38	24	+	—	—1	32	24
		XII	20	36		♍		38	30		—	+	10	59	
2	20	VI	9	45		♓		50	9	36	+	—	9	2	24
		XII	9	32		♍		23	14	48	+	+	21	16	28
2	21	V	29	22	30	♒		17	7	12	—	—	20	15	12
		XI	28	28		♌	1	24	59	36	+	+	31	33	56
2	22	V	19	0		♒	1	24	24		—	—	31	28	
	5м	X	17	24		♋	1	45	47		—	+	—0	13	50
2	23	III	10	30		♑	1	25	50	36	+	—	3	5	34
		IX	6	20		♋		44	2	12	—	+	10	3	38
2	24	III	0	7	30	♑		18	33	48	+	—	14	18	22
		IX	25	16		♊		17	42	36	+	+	10	21	6
2	25	III	19	45		♐		48	43		—	—	25	31	10
		IX	14	12		♊	1	19	27	24	+	+	30	38	34
2	26	II	9	22	30	♐	1	55	59	48	—	—	36	43	58
	5м	VII	3	8		♉	1	50	19	12	—	+	—1	8	2
2	27	I	0	52	30	♏		54	14	48	+	—	8	21	32
		VII	22	4		♈		49	34	24	—	+	9	8	16
2	28	I	20	30		♎		13	2		—	—	19	34	20
		VII	11	0		♈		12	10	24	+	+	19	25	44
		XIIa	10	7	30	♎	1	20	18	48	—	—	30	47	8
2	29	VI	29	56		♓	1	13	55	12	+	+	29	43	12
	5м	XI	29	56		♌	1	43	27	48	+	—	0	9	22

шо разработанной теорией. Правда, наши знания о ней еще весьма отрывочны, так же как и те немногочисленные кусочки черепков, поврежденные, с почти неразборчивыми надписями, из которых они почерпнуты. О значении многих чисел мы можем только догадываться, а их происхождение и вывод нам почти неизвестны. Но и то, что мы знаем, свидетельствует о превосходной уникальной научной системе — некоторой разновидности высокоразвитой жреческой науки. Ее теория основывалась не на новой системе мира, не на его физическом истолковании, а на чисто формальном, математическом описании явлений.

Если признать верным афоризм, что только то знание является наукой, которое содержит в себе математику, то халдейская астрономия в полной мере заслуживает это название. Ведь вавилоняне знали движения небесных тел, а поняв их, могли представлять эти движения в виде нескольких определенных численных величин и предсказывать их на любое число лет вперед.

Условия, которые дали возможность вавилонянам достигнуть столь высокого совершенства, заключались, во-первых, в обилии наблюдательных данных, накоплению которых способствовали как благоприятный климат, так и потребности общества в хронологии и астрологии. Не менее существенным был и тот факт, что вавилоняне имели в своем распоряжении математический аппарат — практическую систему счета с числами, основанными на значении места цифры. Как говорит Нейгебауэр: «Это дало вавилонской системе чисел такое же преимущество перед всеми другими древними системами, какое наша современная (десятеричная) система со значением мест цифр имеет перед римскими цифрами»[7]. Она была полностью разработана уже в период первой вавилонской династии, возможно, как результат процветающей торговли, и тексты этого времени уже имеют дело с алгебраическими задачами. Нейгебауэр отмечает, что этот алгебраический характер символического представления чисел был, возможно, обязан своим происхождением системе письма, в которой важную роль играло использование шумерских иероглифов как идеограмм.

Происхождение этой формы теории неизвестно. Халдейские астрономы были известны и в других частях древнего мира, но только по имени. Если эти таблицы представляют собой предсказания, то они должны были быть составлены ранее первого упомянутого в них года, т. е. до 188 и 178 гг. до н. э. для более древних и примитивных лунных и планетных таблиц и до 133 и 157 гг. до н. э. — для более поздней системы с зигзагообразными функциями.

Римский автор Плиний рассказывал позднее о различных астрономических школах, существовавших в разных вавилонских городах — Сиппаре, Борсиппе и Охлое. Страбон в своем описании мира упоминал халдейских математиков и астрономов: Киденаса, Набурианну и Судинé. Более поздний автор, Веттиус Валенс, упоминал первое и последнее из этих имен, а Плиний называл Киденаса.

На большой лунной таблице более поздней системы сбоку написано заглавие: «Вычислительная таблица Кидинну для лет от 208 до 210, составленная Баниа, сыном Набу-балат-сункби, и Мардук-табик-сиру, сыном жреца Бела в Сиппаре»[8]. Здесь тот же самый Кидинну, которого римляне называли Киденас (Cidenas), упомянут как автор более поздней системы лунных таблиц,

а третье имя Судинé (Soudinés), как предполагается, должно быть идентично с халдейским Ану-шешу-идинна, которое появляется в другом тексте. Таким образом, часто предполагалось, что более древние и более примитивные системы обязаны своим появлением астроному Набурианна или Набурмианну, а Кидинну — автор более совершенной системы выражения периодических неравенств Солнца и планет при помощи зигзагообразных функций. В этом случае они должны были жить на полвека до и после 200 г. до н. э. или несколько раньше; однако в отношении этих дат нет полной ясности.

Эти таблицы охватывают промежуток времени вплоть до 45 г. до н. э. Последние таблицы (эфемериды), использованные Куглером, относятся к 10 г. до н. э. Фрагмент таблицы затмений доходит до 353 г. эры Селевкидов (42 г. н. э.). Впоследствии был найден один астрономический текст 75 г. н. э. Этим исчерпываются все наши сведения о вавилонской астрономии.

Корни вавилонской культуры были подрублены задолго до этого. Теперь у вавилонян, оказавшихся под властью парфян, которые отрезали их от Средиземного моря и отбросили к кочевым народам Средней Азии, духовная жизнь также пришла в упадок. Однако еще ранее всего этого Месопотамия оказала значительное влияние на культуру западных стран и прежде всего на Грецию, где возникла новая астрономия.

ГЛАВА 7

ЕГИПЕТ

Египет расположен в затерявшемся среди песков Ливийской пустыни узком извилистом ущелье — долине и широкой дельте Нила. Днем с ярко-синего неба на страну и людей льется непрерывный поток палящих солнечных лучей, а ночью на ясном небе с неведомым в других местах великолепием сверкают звезды. Не появляется ни единого облачка, чтобы пролить благодатный дождь. Но в этом нет необходимости — плодородие приносит сам Нил; поэтому Солнце как могущественное щедрое божество может пронизывать землю своим знойным сиянием.

Когда в начале лета полоса экваториальных дождей достигает истоков Белого Нила, а тающие в горах Эфиопии снега наполняют Голубой Нил, огромные массы воды устремляются на север и в следующие месяцы затопляют весь Египет. Затем принесенный во время наводнения ил оседает, делая землю сказочно плодородной. Посредством каналов и дамб, связывавших населенные пункты, воду приходилось распределять по всей стране и сохранять в специальных резервуарах. Когда вода спадала, наступало время сева и прорастания семян. В этом засушливом климате пустыни на полях приходилось постоянно поддерживать систему искусственного орошения. Необходимость планового регулирования водоснабжения по всей долине уже в древности привела к централизованной форме правления; первую династию (всего их было 30) [1] обычно относят к третьему тысячелетию до нашей эры, а иногда даже на тысячу лет ранее. Необходимость восстановления после наводнений границ земельных наделов превратила египтян в практиков-землемеров, и поэтому знание геометрии развилось здесь уже с глубокой древности (слово геометрия буквально значит «измерение земли»). В размерах больших пирамид, форме их плоскостей, внутренних залов и комнат мертвых часто находят проявления глубоких геометрических знаний, например знание золотого сечения.

Так же, как и везде, смысл и цель всякого первоначального астрономического знания составляло измерение времени, для которого первым простейшим хронометром служила Луна. Однако позднее этот лунный счет совершенно исчез. Только некоторые

традиции и то, что уже издавна год разделялся на 12 месяцев по 30 дней, показывают, что лунный календарь существовал еще в доисторический период. Годичное изменение явлений природы и связанной с ними деятельности человека производило на него довольно сильное впечатление, и поэтому солнечный год как единица летосчисления господствовал в Египте уже с древнейших времен. В соответствии с указанными выше явлениями год делился на три равные части из четырех месяцев: наводнение — с июля по ноябрь; время сева и прорастания семян во влажном иле — с ноября по март; жатва и все, связанное с ней,— с марта по июль.

Уже в древности было замечено, что год из $12 \times 30 = 360$ дней слишком короток, поэтому после двенадцатого месяца вставлялись пять дополнительных дней (*эпагоменов* — αἰέπαγόμεναι, как их позднее назвали греки). Они считались праздничными днями, неблагоприятными для работы. Такая длина года (365 дней) удовлетворительно сохранялась в течение целого столетия, т. е. дольше памяти двух поколений людей. Разлив Нила, как и всякое явление, зависящее от условий погоды, происходил нерегулярно; иногда время его наступления изменялось на месяц и более от одного года к другому; поэтому ошибка на $^1/_4$ дня в таком «блуждающем» году возрастала до 30 дней только через 120 лет. Но позднее жрецы, в обязанности которых входили заботы о счете времени, установлении дней праздников и жертвоприношений, должны были заметить, что разливы Нила приходятся на все более и более поздние даты. Тогда было введено различие между праздниками, тесно связанными с сельским хозяйством (такими, как посев и жатва), и ритуалами, связанными с календарными датами [такими, например, как новогоднее празднование первого дня первого месяца].

Между тем продолжали пользоваться календарем с блуждающим годом из 365 дней, в котором разливы Нила приходились каждый раз на более позднюю дату, пробегая постепенно через все 12 месяцев.

Регулярность в смещении сельскохозяйственного года обнаруживалась также и в небесных явлениях. Так, уже в древности египтяне обратили внимание на то, что именно в тот момент, когда в столице государства Мемфисе вода Нила начинала прибывать, над горизонтом впервые на рассвете появлялась самая яркая из неподвижных звезд — Сириус. Это совпадение было слишком примечательным, чтобы можно было счесть его случайным; в нем должен был заключаться какой-то смысл общемирового порядка. Так, божественная звезда «Сотис» со своим красноватым утренним восходом стала для египтян причиной и предвестником благодатного наводнения.

Естественно, что гелиакический восход этой звезды — вполне регулярное, периодически повторяющееся явление; его период — $365^1/_4$ дня — равен длине среднего сельскохозяйственного года, однако он уже не зависит от нерегулярностей наводнения. За каждые четыре года он продвигается вперед на 1 день месяца, так что через $4 \times 365 = 1460$ лет дата гелиакического восхода Сириуса точно повторяется. (Например, в 2770 и 1314 гг. до н. э. он приходился на день нового года.)

Но так как сам Сириус несколько смещается относительно точки весеннего равноденствия, то истинный период составляет 1456 лет. Позднее этот период был назван «периодом Сотиса» и получил аллегорическое выражение в сказке о священной птице фениксе, которая появлялась через каждые 1460 лет и сжигала себя, чтобы воскреснуть из пепла помолодевшей. В практической хронологии период Сотиса не использовался.

Следует отметить, что Сириус мог играть такую роль только в Древнем Египте. Из-за прецессии и собственного движения эта звезда смещается относительно точки весеннего равноденствия, по которой определяются времена года и сельскохозяйственных работ. Учитывая, что у Мемфиса вода в Ниле начинает подниматься по нашему календарю около 25 июня (день весеннего равноденствия — 21 марта), находим, что гелиакический восход Сириуса в 3000 г. до н. э. был 22 июня; в 2000 г. и 1000 г. до н. э.— 30 июня и 18 июля [2]. Таким образом, в эти годы Сириус уже не был больше предвестником наводнений.

Уместно задать вопрос, почему же египтяне постоянно сохраняли этот запутанный календарь с двумя видами лет и праздников, которые все время смещались по отношению друг к другу. Так просто было бы установить сельскохозяйственный год Сириуса с фиксированными датами месяца, прибавляя к каждому четвертому году шесть дней вместо пяти. Иногда фараоны пытались это осуществить, однако каждый раз их попытки наталкивались на сопротивление жрецов, не желавших допускать изменения священных традиций. А поскольку в обязанности жрецов как раз и входило регулирование календаря, определение времени праздников и жертвоприношений, монопольное обладание тайнами этой сложной науки давало им в обществе большую власть, которую они хотели за собой сохранить.

Особое значение Сириуса в жизни египтян обеспечило ему место среди богов; звезда Сотис стала олицетворением Изиды, богини плодородия и земледелия. Другие важные божества египетского пантеона получили воплощение в других небесных телах. Так, олицетворением Озириса стало созвездие Ориона, расположенное вблизи Сириуса (несколько выше него). Солнце как верховный солнечный бог Ра всегда занимало наиболее важное место в

мире богов. На время, при фараоне Аменхотепе IV (Эхнатоне), боровшемся против могущества жреческой иерархии, Солнце под именем Атона было даже объявлено единственным богом. Однако вскоре после смерти Эхнатона власть фараонов значительно ослабла, и все усилия по введению нового культа были сведены на нет.

Трудно установить, каковы были знания египтян о звездном небе в эти давние времена. В скальных погребениях и на саркофагах были найдены списки так называемых «деканов» — периодов из десяти или семи дней, на которые делились месяцы; каждая декада или неделя находилась под покровительством особого божества, олицетворявшегося тем или иным созвездием. Такая структура списков указывает на то, что деканы использовались для определения текущего часа ночи.

Однако изображения «деканов» трудно отождествить из-за больших сомнений в значении их названий. Эти «списки деканов» состоят из многочисленных фигур людей и животных, которые, по всей вероятности, представляют собой изображения созвездий. Отдельные звезды в них опущены, так как для египтянина наиболее важны были сами небесные существа, изображенные на рисунках. Здесь на месте Большой Медведицы мы находим быка или только его переднюю ногу, считавшуюся олицетворением злого бога Сета, затем бегемота (Малая Медведица), крокодила, льва, ястреба-перепелятника. Однако все догадки о том, какие группы звезд соответствуют каждому из них, остаются в высшей степени сомнительными. Наиболее известные и часто воспроизводимые изображения деканов находятся в храме в Дендерах. Они относятся к поздне-эллинистическому периоду, когда египетская наука находилась под сильным влиянием вавилонской и греческой науки.

В Древнем Египте не находят никаких следов развития астрономии, достигшего мало-мальски научных высот [3]. После того, как календарь был закреплен в виде жесткой системы лет, вмешательство звезд могло ограничиваться исключительно гелиакическими восходами Сириуса. Луна также не была здесь больше нужна. Для определения времени ночью служили водяные часы, а днем время измерялось солнечными часами [4]. Египет может служить наглядным примером того, насколько мало побуждает людей к развитию науки о звездах небо, даже всегда ясное, если оно не находит практической основы в их жизни и деятельности *) [5].

*) Совершенно правильное заключение А. Паннекука, находящееся в противоречии с его высказыванием во введении к первой главе. *(Прим. ред.)*.

ГЛАВА 8

КИТАЙ

Китайские авторы относят возникновение астрономии в своей стране к глубокой древности — к периоду ранее второго тысячелетия до нашей эры. Однако, так же как и все, что сообщается о древности, это утверждение по большей части основано на легендах и более поздних домыслах. Действительная же история намечается только с первого тысячелетия до нашей эры. Плодородные лёссовые холмы и долины по среднему течению Хуанхэ (Желтой реки) стали местом первого расцвета китайской культуры, в то время как расположенные к юго-востоку от них равнины вдоль Янцзыцзян были еще покрыты непроходимыми болотами и лесными чащами. На этих территориях, центром которых были Хунань или Шэньси, где находилась и столица, главным занятием населения было земледелие, со свойственной ему феодальной организацией. Под номинальной верховной властью династии Чжоу постоянно враждующие друг с другом местные князья и знать правили крепостными крестьянами. В дальнейшем, по мере развития городских ремесел и торговли, в этом постепенно разлагавшемся феодальном обществе возник (главным образом из числа обедневшей аристократии) новый класс интеллигенции: придворных писцов, знатоков древних легенд, советников и должностных лиц. Среди них выделялись такие знаменитые философы, как Кун-цзы (Конфуций, 551—470 гг. до н. э.) и Мэн-цзы (Менциус, 372—288 гг. до н. э.) [1], которые преобразовали древние идеалы рыцарства в учение о добродетельном поведении как основе *Процветающего государства.* Под добродетелью они понимали точное следование обрядам, приличиям и Тао [2].

Когда завоевание и освоение постоянно затопляемых низменностей привело к необходимости дальнейшего обуздания рек при помощи дамб и каналов, феодальная разобщенность должна была уступить место единой империи, с сильным централизованным правительством, состоящим из чиновников — «мандаринов» [3]. В это время древняя культура также была приспособлена к новым условиям и при Ханьской династии (205 г. до н. э.—221 г. н. э.) [4] закреплена в виде твердых правил. Еще более высокого уровня развития искусство и наука достигли позднее, при Танской

династии (618—907 гг. н. э.). Правда, периоды процветания чередовались с веками смуты и раздоров, восстаний угнетенных крестьян, вторжений в страну и ее завоевания варварскими кочевыми народами. Эти кочевники, вероятно, так же, как и первые жители страны, пришли сюда из азиатских степей северо-запада, единственной стороны, с которой Китай не был защищен морем или горами. Воинственные монгольские племена придали правящей верхушке свежую силу [5], но из-за своей малочисленности они вскоре были ассимилированы многомиллионными массами земледельцев, которыми управляло чиновничество, и усвоили их культуру. Такое чередование периодов завоеваний и расцвета, упадка и смут продолжалось и в дальнейшем, повторяясь вновь и вновь, вплоть до настоящего времени. Таким образом монгольские кочевые племена, которые в Западной Азии выступали только как разрушители культуры, в Китае создали на аграрной основе собственную цивилизацию, внутренне достаточно сильную для того, чтобы поглощать одну за другой волны новых завоевателей. Эти обстоятельства определили медленное развитие культуры, носящей весьма консервативный характер.

Важную роль в этой культуре играли астрономические представления. Истинную картину их развития трудно восстановить, так как более поздние летописи постоянно пытались приписать новым взглядам высоко почитавшуюся в Китае древность, а следовательно, и неизменную законность.

В 213 г. до н. э. по приказу могущественного узурпатора императора-выскочки Ши-Хуанди были сожжены все книги, вероятно, для того, чтобы сломить власть феодальных норм и традиций. Однако вскоре после этого, при императорах из династии Хань, память о древних философах, а также древние книги стали восстанавливать, т. е. по большей части заменять прежнее содержание новым. Это сделало многое в прежней истории Китая сомнительным.

Однако твердо установлено, что на протяжении всего этого времени правительство постоянно заботилось о регулировании календаря, служившего источником непрерывных затруднений.

Правительство назначало особую коллегию ученых, в обязанности которой входило содержание в порядке счета времени. В древних сожженных книгах излагалась история о двух друзьях астрономах по имени Си и Хэ [6], которые за свое участие в гражданской войне были убиты представителями победившей партии. При этом в качестве основного обвинения было выдвинуто то, что они настолько запустили календарь, что наблюдавшееся тогда полное солнечное затмение наступило неожиданно. Более поздняя обработка превратила этот рассказ в морализирующую анекдотическую повесть о двух придворных астрономах Си и Хэ, которые

вели беспечную жизнь, пренебрегая своими обязанностями; они опоздали предсказать затмение, за что и были обезглавлены. Так как приводились день (первый день осени) и место (лунный дом Фан, т. е. голова Скорпиона) [7] этого затмения, то в настоящее время удалось вычислить, что оно должно было произойти 22 октября 2137 г. до н. э. Однако ясно, что в такие давние времена еще нельзя было говорить о предсказании солнечных затмений; о достоверности деталей в оригинальном повествовании также трудно судить.

Единицей счета времени уже с древности был лунный период, и этот лунный календарь все еще сохранялся. Но так как земледелие связано с годом, то необходимо было постоянно приспосабливать лунный счет к Солнцу при помощи интеркаляции. С 350 г. до н. э. было известно, что длина года составляет $365^1/_4$ дня. Уже в эти отдаленные времена упоминалось также правило, по которому год всегда начинался с гелиакического восхода Спики, т. е. осенью. Позднее было дано предписание относить полнолуние справа от Спики еще к предыдущему году, а полнолуние слева от Спики — к первому месяцу нового года; таким образом год начинался весной.

Астрономические или, вернее, космологические представления были тесно связаны со всем китайским миропониманием в целом. Они включали в себя все простые знания: суточное вращение неба, полюс, горизонт; видную роль играл экватор, а эклиптика и планеты едва упоминались.

Небо и Земля были тесно связаны друг с другом. Небесные и земные явления представляли собой единое целое. Это нашло выражение в государственной религии и соответствующих ей церемониях. Китай — центр Земли, «срединная империя», она соответствует полюсу как середине неба; так же как император на Земле, на небе правит бог — Шан-ди. Император является «сыном Неба»; он может поддерживать гармонию между небом и Землей, если в своих поступках будет точно следовать предписаниям и обычаям предков. Нарушение одного из этих условий влечет за собой также и нарушение другого. Не только нерегулярности на небе вызывают бедствия на Земле, но также и неподобающие действия людей вносят беспорядок в природу и на небо. Затмения и кометы служат указанием на то, что император или правительство совершили преступление, плохо управляли или пренебрегли должным церемониалом. «Если на троне — мудрый государь, Луна следует правильным путем. Если государь не мудр и властью пользуются министры, Луна сбивается с пути. Если высшие чиновники ставят свои личные интересы выше своих обязанностей, Луна отклоняется к северу или к югу. Если Луна движется быстро это бывает потому, что государь медлит с наказанием; когда Луна за-

медляет движение, это происходит потому, что государь скор на расправу»,— вот что написано в астрономическом труде Ши Шэня (IV в. до н. э.) [8].

Китайские философы пытались найти симметрию и сродство как во всей вселенной, так и в практической жизни. Так, четыре направления: восток, юг, запад и север приводились в соответствие с четырьмя временами года (весной, летом, осенью и зимой), четырьмя частями дня и четырьмя делениями небесного экватора. Вместе с «серединой» они составляли пентаду, причем устанавливались ее параллели с другими пентадами основных свойств в самых различных областях: с основными элементами, составляющими материю; с растениями, цветами, частями тела, музыкальными инструментами, планетами, запахами. В сочетании с другими двенадцатью различными предметами пентада составляла шестидесятилетний цикл. В этом учении о мире была определенная рассудочная гармония схематического порядка с основанными на ней обрядами.

По складу ума и образу мышления восточно-азиатские монголоиды совершенно отличаются от семитических и арийских народов Передней Азии. Там в странах, прилегающих к Средиземному морю, богатое разнообразие лесистых гор и плодородных долин, знойных пустынь и прохладных оазисов, причудливых скалистых побережий и зеленых островов, чрезвычайное разнообразие ландшафтов, пейзажей и сил природы пробудило цветистую фантазию, которая создала пеструю процессию богов и богинь в качестве их олицетворения. Однако здесь, на Дальнем Востоке, гнетущая власть бесконечных однообразных степей и могучих гор огромного континента подавляла воображение, и в результате трудной, а нередко и жестокой борьбы за существование выработала в человеке суровую уравновешенность мыслей и чувств. У странствующих кочевников, которые не имели ни постоянного места жительства, ни деревень, а знали только редкие караванные города [9], патриархальная семья не допустила возникновения многочисленных племенных богов, которые в большинстве земледельческих стран составили основу богатого пантеона. Почитание и жертвоприношения ограничивались ду́хами родителей и предков, которые возносились на небо; к небу стали взывать как к высшей силе, наряду с Солнцем и Луной. Этот монгольский характер продолжал действовать и в Китае; религия — отныне централизованная государственная религия — олицетворялась не в сверхъестественных поэтических фантазиях, а в прозаически практическом нравственном учении о добродетельных предписаниях. В Китае встречаются храмы, посвященные не богам, а древним философам, которые почитались как святые, а их ду́хам приносились жертвы. Не боги управляли судьбой человека; успех или неудачу предопределяло

добродетельное поведение, т. е. следование велениям Неба. При этом император подавал пример; он призывал всех к добродетельному поведению, и если он сам был благонравным, то в стране воцарялись порядок и счастье. Для того чтобы добиться процветания, правительство внимательно следило за точным выполнением соответствующего императорского церемониала, в котором участвовали также и второстепенные силы, т. е. ближайшие к Солнцу и Луне другие небесные светила. Интеллигенция — руководящий класс, носитель культуры, состояла не из жрецов, а из мандаринов, которые благодаря изучению древней литературы стали знатоками и воплощением добродетели, т. е. правильного поведения, соответствующего обычаям; это были, собственно, чиновники, на которых возлагались также и некоторые обязанности государственных жрецов. Отмеченные особенности наложили отпечаток и на китайскую поэзию, прелесть которой состоит не в богатстве воображения, а в глубокой гармонической жизненной мудрости.

В этом государстве существовала коллегия астрономов, которая обязана была заботиться об ориентировке и счете времени для того, чтобы все происходило установленным образом и во время, предписанное правилами. Храмы и дворцы ориентировались точно по странам света; император во время всех официальных приемов восседал на северной стороне, глядя на юг; так же поступали и все другие представители власти. В соответствии с «книгой ритуала» высший придворный астроном обязан был сообщать императору о том, когда следует начинать первый месяц каждого из четырех сезонов; если это было, например, весной, то император во главе своего двора направлялся к восточному предместью, чтобы торжественно встретить новое время года. Он молился Шан-ди о хорошем урожае, затем в первый благоприятный день, указанный астрономом, выходил на поле и плугом, который тянула упряжка волов, прокладывал три борозды; за ним следовали его министры. Чтобы выполнить свою задачу, коллегия астрономов обязана была вести непрерывные наблюдения, чтобы заметить все происходящие на небе явления, все зарисовать и доложить о наиболее важном. Для этой цели во дворце императора находилась обсерватория.

Астрономы следили за тем, чтобы их инструкции рассылались во все концы империи. Они составляли календари, с великой торжественностью подносившиеся императору, который затем распоряжался об их опубликовании. В календарях указывались также дни, благоприятные или неблагоприятные для всяких важных дел в повседневной жизни.

В эпоху феодализма (период Чжоу) — век философов и литературно образованных людей — развилась также и астрономия,

возникшая на основе счета времени. Время года распознавалось по положению определенных созвездий: Антарес, находившийся при заходе Солнца на западе, указывал середину лета; пояс Ориона в таком же положении — зиму; опущенный книзу хвост Большой Медведицы указывал на начало года. Наряду с этим важную роль играла астрология; астрономические работы того времени были по существу астрологическими трактатами, содержавшими перечень истолкования значений небесных явлений. Так как главным объектом предзнаменования были император и его государство, то и вся астрономическая терминология строилась на основе языка придворных; так, группа звезд называлась «Дворец», а отдельные звезды носили имена придворных сановников. В «Пурпурном дворце» (группе звезд Малой Медведицы, расположенных вокруг тогдашнего полюса) самая яркая звезда (β Малой Медведицы) называлась «Небесный император», вторая по блеску звезда (γ Малой Медведицы) — «Наследник трона», другая звездочка — «Императрица», а очень слабая звезда — «Ось неба». Северный полюс и окружающие его звезды считались наиболее важной частью неба; там находилась вершина неба и императорский престол. На рис. 6 приведена фотография звездной карты.

В упоминавшейся выше работе Ши Шэня, от которой сохранились в более поздних копиях только отдельные фрагменты, были список и описание по крайней мере 122 созвездий с 809 звездами; звездный каталог Ши Шэня должен быть древнее гиппарховского. Эти созвездия были иными, а группы звезд — значительно меньшими, чем наши современные. На более поздних глобусах и картах звезды изображались совершенно одинаковыми точками, независимо от их блеска; к тому же и карты между собой не совпадали. Все это создавало много трудностей при их отождествлении.

Важное место занимали уже упоминавшиеся в 1 главе 28 *сю* (буквально — «ночевать», чаще переводились как «лунные станции» или «лунные дома»), которые были расположены главным образом вдоль эклиптики. Позднее они рассматривались как протянувшиеся от одного полюса к другому секторы весьма различной ширины, измеряемой вдоль элеватора. Эклиптику в Древнем Китае считали не кругом, а поясом, через который Луна и планеты проходили при своем движении. Упоминалось также деление на 12 созвездий, отчасти по ежемесячному пути Солнца, отчасти по годичному пути Юпитера. Уже Ши Шэню было известно, что солнечные затмения связаны с Луной, однако он не объяснял их как затмения в нашем смысле слова; для него это была сила или сущность Луны, которая в первый или последний день месяца побеждает или подавляет силу Солнца. О лунных затмениях также было еще мало известно; Ши Шэнь считал, что они могут про-

исходить в самые различные дни месяца. Его замечания о движении Луны уже были отмечены выше.

Планеты в то время также изучались только в общих чертах — отмечалась переменная скорость прямого и попятного движений и



Рис. 6. Китайская звездная карта.

стояния. Как показывают астрономические данные, следующие друг за другом явления в основном представлялись правильно; но иногда (если перевод и толкование правильны) — совершенно ошибочно. Так, появления Венеры на востоке в виде вечерней звезды повторяются точно через такой же промежуток времени, как и на западе [в виде утренней звезды. Однако идентичность

этих объектов не была замечена]. Для того чтобы убедиться в превосходстве вавилонской астрономии, стоит только сравнить эти записи с древневавилонским текстом Нин-дар-анна, составленным на 1000 лет раньше, в котором идентичность утренней и вечерней звезд была хорошо известна. В другом месте последовательность из пяти периодов Венеры в течение 8 лет отчетливо выражена: «Когда она появляется на востоке, она появляется в доме Ин-ши (α Пегаса) и исчезает в доме Дзюэ (Спика); она появляется в Дзюэ и исчезает в доме Ди (Альдебаран); она появляется в Ди и исчезает в доме Цзи (γ Стрельца); она появляется в Цзи и исчезает в Лю (ζ Гидры); она появляется в Лю и исчезает в Ин-ши» [10]. За каждый цикл она продвигается вперед на 17 лунных домов, и на следующее утро снова появляется в том же самом доме, где она исчезла утром за девять месяцев до этого. О движении Меркурия не упоминалось, кроме его внезапных появлений и исчезновений с указанием лунного дома для каждого месяца и астрологического значения явления. О Марсе обнаружено лишь несколько отрывков и цитат: «Если Марс начнет попятное движение в доме Ин-ши, министры составят заговор, а солдаты восстанут» [11]. В одной из работ следующего столетия, содержалось уже более детальное описание. Прямое и попятное движения Юпитера и Сатурна были известны, их даже умели предсказывать. Был известен также синодический период Юпитера — 400 дней и период его обращения — 12 лет; эти же периоды для Сатурна встречаются, во всяком случае, в несколько более поздней работе.

В последнем веке до нашей эры (первом веке периода Хань) данные становятся более точными. Высоты Солнца стали измеряться по длине тени от 8-футового бамбукового шеста, «теневого столба»; в момент летнего солнцестояния она составляла 15,8 дюйма (1 дюйм равен $^1/_{12}$ фута); в момент зимнего солнцестояния — 131,4 дюйма. Они соответствуют высотам Солнца в 78°,8 и 31°,4, откуда получается наклон эклиптики, равный 23°,7, высота экватора 55°,1, следовательно, высота полюса 34°,9; это указывает на то, что наблюдения проводились в Хунани. Определенные таким образом (при помощи измерения тени) моменты солнцестояний использовались для уточнения календаря. В 104 г. до н. э. состоялась конференция астрономов, посвященная вопросу о том, как лучше привести в порядок счет времени; с этих пор календари регулярно публиковались. Большое участие в проведении этой реформы принимал Сыма Цянь, который опубликовал астрономическую работу, дававшую более точное движение Луны. Ему помогал астроном Лося Хун, который первым изготовил армиллу, состоявшую из двух колец для экватора и меридиана. Всего через несколько столетий этот инструмент был улучшен добавлением еще одного кольца для эклиптики. Любопытно, что круги

здесь делились не на 360°, а на $365^1/_4$°. Он же, вероятно, при наблюдении прохождений через меридиан и определении этого момента по водяным часам (которые употреблялись в Китае уже с древности) измерил протяженность всех 28 лунных домов. Считают, что он также впервые установил регулярность в движении планет.

В этот период зародились также представления о строении мира, разрабатывавшиеся более поздними авторами. У Лося Хуна небо представлялось в виде яйца, со всех сторон охватывающего Землю, которая, как желток, плавает в окружающей ее воде, находящейся внутри яйца. Небо вращалось вокруг полюса, а времена года происходили из-за перемещения Земли вверх и вниз, туда и обратно: «Земля постоянно движется, но люди не знают этого; они как команда на закрытом судне; когда оно перемещается, они этого не замечают» [12]. Другое учение, изложенное у Ян Сюна (53—18 гг. до н. э.), рассматривало небо как стеклянный колпак, со всех сторон охватывающий выпуклую Землю; небо вращалось, но не подходило к Земле; ночь наступала потому, что Солнце несколько удалялось от Земли так, что его лучи не могли больше дойти до нее. Более поздние авторы дополнили эти представления подсчетами размеров и расстояний в китайских *ли*.

В летописи Хань («Хань-шу») имеется астрономическая часть [13], заимствованная из руководства, составленного в 25 г. н. э. Лю Синем, который хорошо известен как советник, сыгравший видную роль при проведении реформ императора Ван Мана. Сравнение ее с выполненной столетием раньше работой Сыма Цяня показывает значительно более высокий уровень развития астрономических знаний. Синодический месяц принимался равным $29^{43}/_{81}$ дня ($29^d12^h44^m27^s$, т. е. на 23 секунды больше действительного). Так как соотношение 19 лет = 235 синодическим месяцам = 254 сидерическим месяцам выполнялось точно, то год был равен $365^{385}/_{1539}$ = 365,25016 дня (т. е. на 11 минут больше действительного). Для вычисления затмений предполагалось, что 23 прохождения Солнца через узлы равны 135 синодическим периодам, т. е. что Солнце снова проходило через узел, теперь уже другой, спустя $^{135}/_{23} \times 29^{43}/_{81} = 173^1/_3$ дня; этот период затмения на 35 минут больше действительного. При этом давались подробные инструкции для вычислений, которые использовались как формулы для определения на любой год моментов новолуния и полнолуния, продолжительности месяца (29 или 30 дней), времени солнцестояния, относительного положения Солнца и Луны на любой момент, интеркаляции, а также лунных и солнечных затмений. Вычислительный аппарат состоял из многократно повторяющихся периодов, заменявших дроби; поэтому можно было проводить вычисления с очень большими числами, состоящими из семи и более цифр,

что в китайской цифровой системе не составляло труда. Периоды планет также выражались в виде отношения больших чисел: для Сатурна 4320 : 4175 (377,93 дня); для Юпитера 1728 : 1583 (398,71 дня); для Марса 13 824 : 6469 (780,52 дня); для Венеры 3456 : 2161 (584,13 дня); для Меркурия 9216 : 29041 (115,91 дня). Эти периоды отличались от истинных значений всего на —0,16; —0,18; +0,59; +0,21 и +0,03 дня соответственно. Здесь также приводились правила для вычисления положений планеты, ее видимости, места ее появления и исчезновения. Все же окончательные результаты могли еще содержать значительные неточности, поскольку в следующие столетия неоднократно отмечалась необходимость улучшения календаря.

Глядя на это бурное развитие астрономических знаний, трудно удержаться от предположения, что здесь не обошлось без влияния со стороны, например, вавилонской и греческой науки. Везде сходство китайских астрологических предсказаний с вавилонскими сразу бросается в глаза. Думали даже о связях Китая и о влиянии на него культуры майя из Центральной Америки. Однако в китайских астрономических методах слишком много самобытного, чтобы сделать вероятным такое предположение.

В первых столетиях нашей эры снова наступил заметный прогресс астрономических знаний. Теперь стали известны неравенства в продолжительности времен года, в движении Луны, а также и в величине прецессии, которую Юй Си нашел равной 1° в 50 лет. То же можно сказать и о неравенствах в движении планет, которые впервые были даны в более поздней книге 550 г. н. э. В этом развитии несомненно теперь сыграли роль западные влияния. В I в. н. э. благодаря завоеваниям Китая в Средней Азии была установлена связь с Ираном, и через эту страну началась оживленная торговля с Римской империей. Греческая наука, уже проникшая в Индию через Бактрию, теперь могла дойти и до Китая вместе с буддизмом. Более поздние китайские источники сообщали, что в 164 г. в Китай приехали из Передней Азии люди, знающие астрономию, и что в 440 г. Хэ Чэн-те, известный определением широт многих пунктов по высотам Солнца, обучился астрономии, особенно вычислению затмений, у индийского жреца.

В эпоху Суйской и Танской династий стала развиваться также и практическая астрономия. В хрониках этого периода упоминались около 550 г. Чжан Цзы-синь, проводивший наблюдения с астролябией, и в 724 г. астроном И-син, который изготовлял гномоны, квадранты и армиллы. Теперь установилась также связь с мусульманскими государствами Средней Азии, и несомненно оттуда были заимствованы более точные значения периода, наклона и узлов лунной орбиты. В этот период упоминалось несколько китайских астрономов — авторов руководств и наблюдателей; однако

их работы не были уже результатом самостоятельного автохтонного развития науки. Первым из этих ученых следует назвать Шу-Цзина (1231—1316), одаренного математика, который составил улучшенные таблицы для Солнца и Луны, приобрел в 1272 г. новые инструменты для обсерватории и наблюдал солнцестояния и солнечные высоты, на основании которых определил наклон эклиптики в 23°33²/₃′ (на 1′,5 больше истинного значения) и широту Пекина в 40° (на 0°,1 больше действительного значения). Это произошло при монгольском императоре Хубилай-хане (1260—1294), о котором писал Марко Поло. Поскольку в тот период, при двоюродном брате императора Хулагу, монголы властвовали также и в Передней Азии, между Западом и Востоком установился тесный контакт и взаимное культурное влияние. В 1250 г. в Китай прибыл арабский астроном Джемаль ад-Дин, который привез с собой западные инструменты и методы наблюдения на них. Однако ими никто не заинтересовался — китайская наука по-прежнему сохраняла весьма консервативный, традиционный характер. Несмотря на все попытки улучшения, календари оставались неудовлетворительными вплоть до XVI в., когда в Китай прибыли иезуиты, которым и было поручено установить лучшие календари. Отныне о дальнейшем самостоятельном развитии астрономии в Китае нечего было и говорить.

От средневекового периода расцвета практической астрономии сохранилось большое количество наблюдательных данных. Были накоплены сведения о соединениях планет друг с другом и со звездами, хотя и без точных измерений. Значительно больший интерес проявлялся к наблюдению комет. Среди всяких неправильностей на небе, за которыми полагалось внимательно следить, кроме комет оказались также затмения, гало, полярные сияния и метеоры. В записях об этих явлениях обычно указывался день наблюдения, созвездие и направление движения. Эти китайские наблюдения комет именно в период Средневековья позднее приобрели чрезвычайно важное значение для науки, так как нигде в это время им не уделялось такого внимания. Так, кометы 989, 1066, 1145 и 1301 годов можно рассматривать как ранние появления кометы Галлея.

Весьма интересно также и сообщение о новой звезде, которая появилась в 1054 г. в созвездии Тельца. Выполненные в XX в. измерения расширяющейся так называемой «Крабовидной туманности» сделали вероятным предположение о том, что она образовалась на месте взрыва новой звезды, происшедшего за 8 или 9 столетий до этого.

Описание этого явления найдено только в китайских летописях. Здесь упоминается о «звезде-гостье», которая появилась как раз на этом месте в Тельце, и приводится подробное ее описание.

Она появилась в июне 1054 г., была видна даже днем и исчезла через два года, в 1056 г.[14] *).

Астрономия Китая из-за удаленности этой страны не смогла оказать заметного влияния на дальнейшее развитие этой науки в других странах. Сначала она развивалась самостоятельно и разработала ряд замечательных оригинальных методов, однако впоследствии, с начала нашей эры, это автохтонное развитие приостановилось, влияние западной науки стало постепенно возрастать. Единственное значение китайской астрономии состоит в том, что она дает материалы наблюдений в то время, когда они отсутствуют в других источниках.

---

*) Китайские и японские летописи дают богатейший материал не только о Новой звезде 1054 г., а о нескольких десятках новых звезд за последние два тысячелетия. (*Прим. ред.*)

ГЛАВА 9

ГРЕЧЕСКИЕ ПОЭТЫ И ФИЛОСОФЫ

Когда греки впервые выступили на исторической арене, звезды представляли для них то же самое, что и для других первобытных народов. Звезды были частью окружающей их естественной среды, необходимыми, с одной стороны, для ориентировки при плавании по морю, а, с другой стороны, для счета времени при выполнении различных работ. Это ясно видно из великих поэтических творений Древней Греции периода господства родоплеменных отношений — «Илиады» и «Одиссеи» Гомера и «Трудов и дней» Гесиода.

Гомер упоминает названия нескольких звезд. В «Илиаде» — вечернюю и утреннюю звезду, Плеяды, Гиады, Орион, Большую Медведицу и, кроме того, звезду, которая называлась «Пес Ориона» (т. е. Сириус): «более яркий блеск этой звезды является плохим признаком, так как своим теплом она причиняет людям страдание»[1]. А об Одиссее он говорит:

«Сидя на крепком плоту, искусной рукой все время
Правил рулем он, и сон на веки ему не спускался.
Зорко Плеяд наблюдал он и поздний заход Волопаса,
Также Медведицу — ту, что иначе зовут Колесницей.
Ходит по небу она и украдкой следит Ориона,
И лишь одна не причастна к купанью в волнах Океана.
С нею Каллипсо, богиня богинь, Одиссею велела
Путь согласовать свой, ее оставляя по левую руку»[2].

Малая Медведица, очевидно, не была еще известна; правда, в то время полюс неба находился между обеими Медведицами и был значительно удален от современной Полярной звезды.

В своем описании крестьянской жизни Гесиод каждый раз указывает на появление звезд, определяющих время года, соответствующее тем или иным сельскохозяйственным работам. Когда восходят Плеяды (гелиакический восход, 10 мая по нашему календарю), приходит время браться за серп, а за плуг тогда, когда они заходят (утром, 12 ноября). 40 дней их не видно на небе (стих 382). Когда через 60 дней после зимнего солнцестояния из моря поднимается Арктур, восходящий вечером, и остается видимым в течение всей ночи (24 февраля), следует подрезать виноградные

лозы (стих 566). Когда же Орион и Сириус приходят на середину неба и «розоперстая» Эос видит Арктура (14 сентября), следует срезать виноград (стих 610). Когда Плеяды, Гиады и Орион заходят (3, 7, 15 ноября), тогда думай о пахоте (стих 615). Когда Плеяды, спасаясь от Ориона, прыгали в Черное море (утренний заход, 12 ноября), можно было ожидать шторма (стих 619). Через 50 дней после поворота Солнца (т. е. летнего солнцестояния) наступает подходящее время для отправления в плавание (стих 663). Когда появлялся Орион (17 июня), на хорошо выровненном току следовало приносить жертвы Деметре (стих 699).

В этом отношении первые шаги греческой астрономии, достигшей позднее высокого развития, нисколько не отличаются от возникновения астрономии у других первобытных народов. В дошедших до нас в своем первоначальном виде сообщениях, правда, редких и неполных, никогда не говорится о наблюдениях небесных светил, но всегда передаются мнения философов о мире. Это показывает, что здесь мы имеем дело с совершенно иным образом мышления, чем у восточных народов. Здесь и в самом деле были другие люди, выросшие в совершенно иных жизненных условиях, чем те, которые мы встречали в Египте или Месопотамии.

Метрополия Греции представляла собой гористую страну, с трех сторон глубоко изрезанную морем, с разбросанными тут и там вдоль побережий и речушек небольшими участками пахотной земли, отделенными друг от друга лесистыми и скалистыми горами. Это привело к тому, что племена, вторгавшиеся сюда с севера, находили здесь хороший климат и удобные гавани. Однако недостаток пахотной земли не позволял прокормить все растущее население до тех пор, пока оно не превратилось в мореплавателей и не расселилось по соседним островам и побережьям. Мореплавание и торговля были главным занятием населения и источником богатства таких городов, как Коринф в метрополии и Милет, Эфес и Смирна на Анатолийском побережье; постепенно торговля греков стала господствовать на Эгейском море, а затем и конкурировать с финикийской торговлей во всей восточной половине Средиземного моря. Вскоре в результате нехватки земли, пригодной для обработки, появилось много людей, не находивших себе места в метрополии; они переселялись за море: с одной стороны — на побережье Малой Азии, а с другой стороны — на юг Италии. Такое переселение было частым явлением; греческие поселенцы основывали колонии в южной Италии и на Черном море. Здесь появились новые формы экономической и политической жизни.

Заранее можно предполагать, что переселенцы, прибывшие на новую землю, обычно были наиболее энергичными и независимыми представителями своего племени, по большей части свободными от передававшихся из поколения в поколение традиций. Те, кто попал в новые условия, еще способствовавшие быстрому развитию мышления, воспринимали новые идеи значительно легче, чем те, кто остался в метрополии. Кроме того, возникли новые формы труда и новый уклад жизни. В торговых городах появились кустари и ремесленники, которые изготовляли товары для сбыта на далеких рынках, а иногда и сами отправлялись туда, чтобы их продать. У мореплавателей и торговцев выработался совершенно иной склад ума, чем у связанного с землей крестьянства. У крестьян ум консервативен, так как они постоянно находятся в одних и тех же условиях и ведут однообразную жизнь; их представления и воззрения окаменевают. Иное положение было у тех, кто благодаря частым путешествиям постоянно сталкивался с другими народами и иной природой; их ум стал живым и гибким, всегда открытым для новых впечатлений. Занятие ремеслами и конкуренция делали их изобретательными; развилась техника, а на ее основе возникли зачатки физических знаний, обусловившие критическое отношение к традиционной мифологии. Таким образом ясно, что именно среди ионийцев с побережья Малой Азии и греков с юга Италии появились самые первые натурфилософы, которые выдвинули новые представления о мире.

Эти греческие колонисты, жившие на границе двух частей мира, между варварскими племенами Европы и деспотическими империями Азии, были первыми современными людьми, поступки которых уже сравнимы с действиями более поздних горожан европейских стран. Здесь зародилась первая интенсивная гражданская интеллектуальная жизнь, проявлявшаяся в расцвете литературы, независимости мышления и процветании натурфилософии. Здесь человек впервые освободился от традиционного примитивного поклонения олимпийским богам. [Свежие мысли смело воплощались в новые формы религии и религиозных культов. В одном сохранившемся фрагменте философа Парменида описывается, как он встретил (не известную на древнем Олимпе) богиню Алетейю («Истину»), объезжавшую на своей колеснице всю вселенную, которая разъяснила ему внутреннюю сущность мира.]

Сильный индивидуализм, который позднее все больше и больше проникал в характер людей, а затем стал его определять, первоначально развился у свободных граждан Греции, а среди них прежде всего у колонистов. Последующие поколения заимствовали эту новую интеллектуальную жизнь у своих предшественников всякий раз, когда оказывались в сходных исторических условиях; так, например, Западная Европа эпохи Возрождения восприняла культуру классической древности. Одни только греки не могли ни у кого ее заимствовать; современная интеллектуальная жизнь возникла в Греции, особенно в ее колониях, самостоятельно, автох-

тонно. Именно здесь сформировался современный человек. В этом заключается огромное всемирно-историческое значение Древней Греции и ее культуры. Правда, иногда (для того, чтобы не прерывать единой линии последовательного развития) предполагают, что первые греческие мыслители заимствовали свой образ мышления из Вавилона или Египта. Однако совершенно ясно, что при столь различных условиях жизни этих народов о таком заимствовании не может быть и речи, за исключением некоторых отдельных идей.

При этом обнаруживаются еще и другие различия. Основную часть населения Египта и Вавилонии составляли крестьяне, разбросанные по плодородным долинам, где необходимость централизованного распределения воды, заботы о дамбах и каналах очень рано привели к утверждению сильной централизованной власти. Руководство интеллектуальной жизнью общества находилось в руках жречества, что привело и к установлению централизованной власти жреческой иерархии, которая, правда, заботилась также и о науке, но старые традиции все еще были сильны, и эта наука оказалась тесно связанной с богослужением.

В Греции, напротив, не было необходимости в таком политическом единстве и централизованной власти, которые здесь были просто невозможны. Крохотные города-государства, постоянно враждовавшие друг с другом, оставались независимыми; каждый из них имел своих богов (которых поэты впервые объединили в иерархию богов Олимпа), благодаря чему могущество и духовный авторитет жречества носили местный характер и были незначительны. Это наложило отпечаток на всю интеллектуальную жизнь греков и особенно отразилось на греческой науке. На Востоке наука была жреческой, т. е. прикованной к традиционным религиозным культам. В Греции же наука была светской, и ее мог свободно усвоить живой ум мореплавателей и колонистов, осваивавших новые земли.

В книгах по истории греческой астрономии мы находим в VII и VI вв. до н. э. первые имена ряда знаменитых философов, причем все это — колонисты из Малой Азии и южной Италии. Сведения и данные, которыми мы располагаем о них и их идеях, редки и часто противоречивы. Это и не удивительно, если вспомнить о том, сколько произведений древности было утрачено и как мало их дошло до более поздних времен. Правда, сочинения Платона и Аристотеля, которые всегда высоко ценились, сохранились; а Аристотель часто приводил сведения о взглядах более ранних философов. Но так как он делал это в основном для того, чтобы подкрепить свой авторитет, они редко вполне объективны. Его последователь Теофраст написал книгу «О физических мнениях», а его ученик Эвдем—историю астрономии, но обе работы потеряны. Эти

и некоторые другие биографические документы, также утраченные, составили основу коллекции «мнений» (ок. 50 г. до н. э.), которая в свою очередь послужила материалом для работы Аэция «О мнениях» (ок. 100 г. н. э.), часто привлекающей к себе внимание и неоднократно использовавшейся в последующие столетия. Выдержки из них под названием «Мнения философов» были опубликованы во II в. н. э. неизвестным автором, который приписал их великому биографу Плутарху. Главным образом из этих двух источников отцы церкви и другие христианские писатели черпали сведения о взглядах древних языческих философов с целью их опровержения. А так как эта христианская литература хорошо сохранилась, ее можно в некоторой степени использовать для восстановления работ древнегреческих мыслителей. К этому можно прибавить еще и несколько сообщений римских авторов, таких как Цицерон. Однако понятно, насколько неполными, а часто искаженными и неверными были такие заимствования и насколько противоречивы переданные таким образом идеи, которые приписывались древним мыслителям. Ясно также, сколь мало успешными могли быть даже и очень остроумные попытки некоторых современных ученых составить о них более глубокое представление.

Этих людей называли философами потому, что их размышления и объяснения относились к миру в целом. Но они, особенно ионийцы, были деловыми людьми, которые знали технику выполнения разных работ и использовали свое знание явлений природы в практической жизни. Как очень хорошо выразился английский ученый Т. Б. Фаррингтон: «Прикладные знания вытеснили у милетцев мифологию. Их основной концепцией было представление о том, что вся вселенная действует точно так же, как и та ее малая часть, которая подвластна человеку» [3]. Поэтому их объяснения значительно более интересны с физической, чем с астрономической точки зрения.

Древнейшие ионийские философы упоминали, что Фалес из Милета (624—547 гг. до н. э.) считал воду первоосновой всех вещей и полагал, что плоская Земля плавает на воде [4]. По Анаксимандру из Милета (611—546 гг. до н. э.) этой первоосновой является неопределенность или бесконечность, а имеющая цилиндрическую форму Земля свободно плавает в пространстве. По Анаксимену (585—526 гг. до н. э.), также милетцу, воздух поддерживает плоскую Землю, и таким же образом движутся в нем плоские диски Солнца и Луны.

Еще более примитивны в астрономическом отношении взгляды, приписываемые поэту Ксенофану из Колофона (570—478 гг. до н. э.) и Гераклиту из Эфеса (ок. 500 г. до н. э.). Они считали, что Солнце и Луна вечером (и во время затмений) потухают или удаляются на бесконечно большое расстояние, а с каждым сле-

дующим днем их заменяют новые солнца и луны [5]. А ведь их [справедливо] считают теперь самыми значительными и глубокими мыслителями! Ксенофан [в соответствии со своим высказыванием о том, что люди создают богов по своему образу и подобию] нападал на старую религию. [Пожалуй, не один он придерживался таких более свободных взглядов. Среди торговцев и горожан Ионии у него были единомышленники.] А Гераклита Темного и поныне еще высоко ценят за то, что он первым выдвинул идею о вечном изменении и движении. Тот факт, что все их высказывания о вселенной можно опровергнуть поверхностным наблюдением, свидетельствует о том, что они ни в коей мере не были ни наблюдателями, ни астрономами, а всего лишь мыслителями. Поэтому они вряд ли играли особую роль в истории астрономии.

[Некоторые более поздние авторы приписывали Фалесу Милетскому знание шарообразности Земли и правильное объяснение причины лунных затмений, но это едва ли соответствует истине, так как противоречит наиболее достоверным данным. Высказывания Анаксимандра о небесных телах как об огненных обручах с отверстием — еще более туманны. А мнение Анаксимена об удалении небесных светил ночью вдоль горизонта на север было подогнано впоследствии под высказывание (приписываемое ему же!), что звезды как позолоченные гвозди прибиты к хрустальной небесной сфере. Но все это — весьма сомнительно. О сферическом представлении мира здесь нельзя и говорить, но в развитии астрономии во всяком случае это не имело большого значения.] [6]

Более интересно то, что Фалесу приписывали предсказание солнечного затмения (в 584 г. до н. э.). Геродот сообщает, что во время битвы мидийцев с лидийцами на пограничной реке Галюс день превратился в ночь и что это затмение было предсказано Фалесом из Милета в том же самом году [7]. Учитывая состояние астрономических знаний того времени, следует отметить, что такое предсказание было бы возможным только в том случае, если он из какого-либо вавилонского источника узнал или об этом затмении, или об общем правиле предсказания затмений, эмпирическом в каждом отдельном случае. Правда, вавилоняне тогда умели предсказывать лунные затмения на короткие промежутки времени, но предсказания солнечных затмений были значительно более случайными и неопределенными. Так как не обнаружено ничего, что позволяло бы надеяться на существование в то время более обширных знаний о правилах предсказания затмений, сомнительно, или, по крайней мере неизвестно, основано это высказывание на легенде или на истинном событии.

Более высоко развитая картина мира появилась у греков, живших на юге Италии. Здесь впервые встречается значительная и овеянная легендами фигура Пифагора Самосского (ок. 580 — 500 гг. до н. э.). Он изучил в Египте мудрость жрецов, а затем основал в Кротоне школу или нечто вроде монашеского ордена, который рассматривался как учреждение правящей аристократии. Он был впоследствии разогнан народным восстанием. Пифагору всегда приписывали разнообразные научные открытия; особенно глубокими были его познания в области математики и связанной с числовыми законами музыкальной гармонии. Но все эти открытия сделаны лично им; позднее их развила школа его учеников, которые и распространяли эти сведения от его имени. Аристотель всегда говорит о пифагорейцах, а не о самом Пифагоре. Ему приписывали и учение о шарообразности Земли, так же, впрочем, как и его младшим современникам Алкмеону из Кротона и Пармениду из Элеи (вероятно, ок. 504—450 гг. до н. э.); такая точка зрения, при некоторой наблюдательности греческих мореплавателей, могла у них быстро сформироваться по мере накопления опыта. Эти познания привели и к пониманию различия климатических зон на Земле, что также впоследствии приписывалось Пифагору и Пармениду. Позднее Бион из Абдеры (конец V в. н. э.) приводил высказывание о том, что на Земле есть места, где 6 месяцев длится день, а 6 месяцев — ночь. Это может служить доказательством того, что на следствия, вытекавшие из теории шарообразности Земли, в то время уже обращали внимание. Сообщают также, что Пифагор первым выдвинул идею об идентичности утренней и вечерней звезды и, кроме того, он (или Энопид из Хиоса) первым вывел наклон эклиптики и планетных орбит. Эмпедоклу из Агригента (494—434 гг. до н. э.) приписывали учение о четырех элементах, движимых любовью и борьбой; из этих элементов возникло все остальное.

Более определенными представляются нам космологические идеи Анаксагора (ок. 500—428 гг. до н. э.) из Клазомены, города в Ионии. Он поселился в Афинах — могущественной в то время республике свободных граждан, которая была политическим и культурным центром Греции, где литература и искусство достигли наивысшего расцвета. Друг Перикла, он был известен в древности как мыслитель, считавший ум главной движущей силой мира. У него найдены действительно первые высказывания о том, что Луна светит отраженным светом, который она получает от Солнца. Кроме того, у него найдены высказывания также и о наступлении лунных затмений, которые происходят в тех случаях, когда Луна попадает в тень Земли или какого-либо другого тела. Он считал, что поверхность Земли действительно плоская, как верхнее основание цилиндра, свободно плавающего в пространстве, тогда как круговорот эфира под Землей приводит в движение вокруг нее небесные тела. Таким образом, в этом строении мира заключалась определенная двойственность: для земных явлений основными направлениями

считались прямолинейные — в горизонтальной плоскости, напоминающей гладь воды, и в перпендикулярном к ней, вертикальном направлении, тогда как для небесных явлений характерными считались радиальные движения к поверхности сферы и круговые вокруг ее центра. При этом все философы предполагали, что Земля покоится в центре вселенной. В то же самое время у «пифагорейцев» — здесь мы имеем в виду Филолая из Тарента (между 500 и 400 гг. до н. э.) — появилось другое учение. По нему в центре вселенной находится центральный огонь, «хестиа», вокруг которого сферическая Земля ежесуточно описывает окружность; так возникает смена дня и ночи. Центральный огонь невидим для нас потому, что мы живем на противоположной ему стороне Земли, или же потому, что между Землей и огнем расположено «противоземлие» — темное тело, подобное нашей Земле. Солнце — прозрачный как стекло шар, который получает свет и тепло от центрального огня и от огня, находящегося за пределами небесной сферы. Этот свет отражается от Земли и уходит в пространство.

С Сократа и высказываний «божественного философа» Платона (427—347 гг. до н. э.) в духе Сократа начинается новое направление в греческой философии. Ее задачей не было больше познание природы. Благодаря развитию торговли, ремесел и политики теперь в греческом мире на первое место выдвинулись проблемы, касающиеся природы человека и общества. Натурфилософию заменила философия жизни. Сократ весьма пренебрежительно отзывался о естествознании, к которому относится лишь небольшое число его высказываний [8]. В то же время в работах Платона, которые целиком сохранились и дошли до нас, мы находим лишь несколько отрывков, по которым можно изучить его космологические идеи, мысли о природе и звездном мире. Однако обычно они излагаются в форме мифов и символических сравнений; поэтому позднее они стали предметом обширной дискуссионной литературы и современных толкований; борьба мнений относительно того, что подразумевается в этих фрагментах — все еще не закончена.

Философия Платона была самым прямым и предельным выражением идей и образа мыслей богатых граждан Афин и других греческих городов того времени. Они управляли многочисленным классом рабов и ремесленников и свысока смотрели на любую физическую работу. К ней они относились с глубоким презрением, как к делу, подходящему только для грубых людей и рабов, совершенно лишенных всякой духовной культуры. Физический труд считался позорным для свободных граждан, которые должны были заниматься лишь умственным трудом — математикой, философией и политикой. Это презрение к технике было часто противоположным душевному складу раннеионийских граждан. Его не было еще у художников золотого века, которые сами были людьми, хорошо

знакомыми с техникой своего дела. Это было типично для философов на протяжении столетий упадка после катастрофы, постигшей могущество Афин в конце V в. до н. э. Возможно, это явилось одной из главных причин того, что экспериментальные естественные науки не развились в классической древности.

Для Платона идеи — «духовные сущности» — составляли действительный мир, а видимый мир был только его внешним проявлением. Такую «действительность» невозможно было изучить экспериментально при помощи органов чувств. Истинный мир совершенен, чист и вечен, познать его можно только умом, так как он не подчиняется несовершенным временным явлениям и не сводится к ним. Это относилось также и к астрономии [9], для которой наблюдения небесных украшений, прекрасных и совершенных, являлись, однако, всего лишь иллюстрациями, сравнимыми с математическими чертежами: «Мы должны изучать астрономию точно так же, как математику, при помощи теорем, а звездное небо — исключается, если мы хотим получить истинное знание астрономии» [10]. «Настоящий астроном должен быть в высшей степени мудрым, не таким, кто подобно Гесиоду и другим занимается восходами и заходами, а тем, кто исследует семь обращений, заключенных в восьмом движении» [11]. Таким образом, здесь также предполагается, что видимая материя так или иначе противоположна духовной. Позднее это проявилось в астрономии как реальность, противоположная явлениям, наблюдаемым на небе, вскрывающаяся в упорядоченности небесных тел и орбит. У Платона она выступала как духовная сущность вещей, которая раскрывалась только могуществом разума, абстрагирующегося от опыта. Таким образом, практическая задача астронома заключалась в том, чтобы обнаруживать действительные правильно повторяющиеся движения по совершенным окружностям, которые по существу стоят за видимыми неправильными блужданиями планет. Более поздний автор упоминал, что в своих устных дискуссиях Платон предлагал изучавшим астрономию решать вопрос о том, «что такое равномерные и упорядоченные движения, при помощи предположения, на основании которого видимые движения планет могут быть объяснены» [12].

Для Платона все звезды были «божественными сущностями, с телом и душой; их видимая форма состояла в основном из огня для того, чтобы они выглядели самыми яркими и прекрасными, а для сходства со Вселенным они делались шарообразными» [13]. Вселенная — единая, вечная, живая и совершенная сфера, одаренная также душой и движением, которое, как и подобает этой наиболее совершенной форме, является равномерным обращением вокруг оси. Затем приводятся движения Солнца, Луны и планет. Все это изложено в виде аллегорического мифа в «Республике» и в виде поэтического описания в «Тимее».

В последней главе «Республики», где описывается, что видели души на небе, Платон толкует луч света как колонну, которая связывает небеса воедино, и как Ось Необходимости, вокруг которой происходят все обращения. Упоминаются и восемь колец с ободами различной ширины, которые пригнаны друг к другу так, что образуют единую поверхность. Описывается ширина и цвет этих колец: первое — наружное и самое широкое — многоцветное (это звездное небо), обращается вокруг оси, а связанные с ним остальные семь колец медленно вращаются в противоположном направлении. Из них внутреннее, т. е. восьмое,— самое быстрое (это Луна), затем следуют седьмое, шестое и пятое с одинаковыми скоростями (Солнце, Венера, Меркурий), а за ними идут по порядку другие. Седьмое — наиболее светлое, а восьмое получает свой цвет от сияния других колец (это Солнце и Луна); второе и пятое (Сатурн и Меркурий) — более желтые, третье (Юпитер) — самое белое, а шестое (Венера) — несколько слабее его по цвету, тогда как четвертое (Марс) — тускло-красное. Из этих сведений становится ясно, что здесь в форме поэтической аллегории идет речь о планетах и их орбитах. Более поздние комментаторы и современные истолкователи проявили огромную эрудицию, пытаясь вскрыть точные детали этого механизма. Но весьма вероятно, что от автора поэтического описания нельзя ожидать представления, подобного современной механической структуре [14].

В «Тимее» описывается сотворение души и мира. Образовались два круга, пересекающиеся под косым углом в двух противоположных точках, обращающиеся один вокруг другого. «Внешний круг он назвал движением Сходства, внутренний — движением Различия. Обращение круга Сходства происходило вправо, было боковым, а обращение круга Различия — влево, по диагонали (т. е. наклонно). Он дал главенство первому, который оставался единым и неделимым, а другой рассек на семь неравных кругов, с интервалами в двойном или тройном отношении (позднее интерпретированные как расстояния 1, 2, 3, 4, 8, 9, 27); и он установил, что эти круги должны двигаться в противоположных направлениях, три — с одинаковыми скоростями, а четыре других — с иными различными скоростями» [15]. Здесь также сразу ясно, что движение круга Сходства — это суточное вращение небесной сферы, общее и одинаковое для всех звезд, а движение круга Различия представляет собой перемещение семи блуждающих звезд вдоль эклиптики.

Для того чтобы создать «наглядное представление о вечности», выраженное в числах, т. е. то, что мы называем временем, были созданы Солнце, Луна и пять планет, размещенные на семи орбитах. «Луну он поместил на ближайшей к Земле орбите, на второй орбите над Землей он поместил Солнце; за ним — утреннюю звезду и звезду, посвященную Гермесу,— на орбитах со скоростями,

равными скорости Солнца, но с противоположными силами (т. е. направлениями), из-за чего обе они поочередно догоняют Солнце, а затем оно их догоняет» [16]. Таким образом, день и ночь определяются первым обращением неба, месяц — обращением Луны, а год обращением Солнца. «Движение же других люди не постигли, за исключением немногих частностей ..., и они едва ли знают, что время определяется по перемещению тел, которые так недосягаемы, а их движения столь удивительно запутаны» [17].

В посмертном сочинении Платона, законченном одним из его учеников, говорилось о том, что третья, движущаяся с той же скоростью, как и Солнце, планета не имеет греческого названия потому, что ее открыли и назвали варвары, жившие в более благоприятных климатических условиях. Но позднее планеты все же получили названия по именам богов: утренняя и вечерняя звезда — по имени Афродиты, а только что упомянутая безымянная — по имени Гермеса. Оставались еще три, более медленно движущиеся планеты. Самая медленная была названа по имени Кроноса, следующую решено было назвать звездой Зевса, а последнюю, самую красную,— звездой Ареса [18]. То, что у Платона впервые встречаются здесь в качестве наименований планет имена богов, столь совпадающие с вавилонскими, показывает, что в это время влияние Востока на греческую астрономию уже давало о себе знать.

Движение Сходства, самое быстрое из всех, опережало все остальные движения, причем суточное обращение Солнца, Луны и планет было более медленно и происходило по спиралям. В то же время другие тела, которые наиболее быстро двигались по своим орбитам, оказывались самыми медленными при суточном обращении, и наоборот. Это снова приводило к установлению в движениях небесных тел противоположности между наблюдаемым явлением и его внутренней сущностью. В «Законах» говорилось, что греки клеветали на богов, утверждая, что они ходят весьма различными путями, тогда как в действительности они всегда придерживаются одной и той же орбиты; клеветой считалось и то, что самыми быстрыми богами (планетами) называли тех из них, которые в действительности были самыми медленными.

Хотя из всего этого представление о космологическом учении Платона и его системе мира складывается без какого-либо сомнения или двусмысленности, все же есть у него несколько фраз, которые могут привести к выводу (породившему обширную дискуссию), что Платон в последние годы жизни пришел к идее осевого вращения Земли. Но этому противоречит следующее. Только в том случае, если бы он рассматривал обращение неба как видимое, кажущееся, он мог назвать движение Сатурна в действительности самым медленным, а Луны — самым быстрым. Он не мог бы этого

сделать, если бы обращение неба было для него реальностью. Но следует отметить и противоречие, что для Платона деление результирующего движения на суточное обращение и собственное движение вдоль эклиптики, при котором Сатурн оказывался наиболее медленным, было умственной работой, процессом абстрагирования, т. е. более глубокой реальностью, которую можно было назвать сущностью мироздания.

Во втором предложении из «Тимея» он говорил: «Но Земля, наша приемная мать, вращается (вертится, крутится) вокруг оси, которая простирается через всю вселенную; ее он сделал стражем и творцом ночи и дня, первым и старейшим из богов, которые создали вселенную» [19]. Слово «творец» (*демиург*, созидатель), конечно, должно было лучше подходить, если бы вращение Земли вызывало смену дня и ночи. Но это весьма противоречит всему остальному, и таким образом это слово следует понимать в более широком смысле.

Наконец, третье предложение у Аристотеля: «Некоторые говорят, что она (Земля) расположена в центре, вертится и движется вокруг оси (*пóлоса*), которая пронизывает всю вселенную, как описано в „Тимее“» [20]. Здесь, однако, идет речь не о Платоне, а о пифагорейцах, и уже Фома Аквинский объяснил, что эти слова относятся к оси вселенной, которую Аристотель никогда не называл *пóлос*, тогда как Платон пользовался таким названием. Таким образом, относительно взглядов Платона по этому вопросу мнения исследователей расходятся не очень сильно.

Итак, медленное и постепенное развитие астрономии в Древней Греции привело к тому, что в IV в. до н. э. стали различаться отдельные планеты и их движение вдоль эклиптики. Весьма примечательно, что в этот период (600—400 гг. до н. э.) Греция (Афины) достигла наивысшего экономического и политического расцвета: внутри страны — высокой степени гражданских свобод, благодаря развитию торговли и ремесел, а за пределами Греции — небывалого могущества в противоположность персидской деспотии на Востоке. В этот период литература и искусство достигли такого высокого уровня, который едва ли был повторен где-либо в мире. Здесь появились философы, которыми мы постоянно восхищаемся и чьи труды изучаем. И в то же самое время астрономическая наука едва только начала развиваться. Знание простых небесных явлений, которые любой человек мог легко извлечь из мало-мальски тщательных наблюдений, здесь приписывалось знаменитым философам. Это доказывает, что в первые столетия расцвета практическая астрономия не привлекала умы греков. Таким образом получается, что в противоположность Вавилону их практическая жизнь не давала сильного стимула к непрерывным тщательным наблюдениям звезд.

ГЛАВА 10

КАЛЕНДАРЬ И ГЕОМЕТРИЯ

Возникновение практической астрономии у греков также было вызвано путешествиями и счетом времени. Хотя мы знаем, что капитаны греческих кораблей со своими товарами смело бороздили моря, до нас дошло все же мало сообщений об использовании звезд при мореплавании. В узком Средиземном море, где берега всегда близки, звезды были необходимы только для того, чтобы определить по звездам направление плавания и время ночью. Более поздние авторы говорили о принадлежавшем Фалесу руководстве по навигационной астрономии; однако другие приписывали авторство Фокусу Самосскому.

Более часты упоминания о том, как древние греки при помощи астрономических данных определяли время днем и регулировали календарь. Ночью время узнавали по восходу на востоке новых созвездий. Двенадцать знаков зодиака, первое знакомство с которыми приписывали Энопидесу Хиосскому (ок. 430 г. до н. э.), были, несомненно, заимствованы из вавилонской науки, что доказывают сами их названия. В течение ночи появляются 5 следующих друг за другом созвездий, начиная с противоположных Солнцу, которые восходят вечером, и до самого последнего, которое видимо еще как раз перед восходом Солнца. Единицей времени был двойной час; он тем длиннее, чем дольше продолжается ночь. Днем, когда простая оценка высоты Солнца оказывалась недостаточно точной, производилось измерение шагами тени от специально установленного столба, называвшегося *гномоном* или *полосом.* В последующие столетия вошли в употребление различные виды солнечных часов, например, такие, где металлический шарик отбрасывал тень на внутреннюю полость сферической чаши, разделенную на круги. Наряду с этим использовались и водяные часы.

Счет времени у греков с древности был основан на лунном календаре, который приспосабливался к солнечному году. Месяц начинался с появления вечернего серпа, следовательно, сутки также начинались с вечера. Первоначально этот момент, несомненно, устанавливался эмпирически. Позднее же, так как погода часто ухудшала видимость первого серпа, было введено регулярное чередование «полных» и «пустых» месяцев (т. е. месяцев по 30 и

29 дней), при этом, однако, через каждые 16 лет следовало добавлять 3 дня. Плутарх в своей биографии Солона Афинского говорит, что тот ввел в практику объявление дня соединения Солнца и Луны, так называемого «старого и нового» дня, который должен был причисляться частично к старому, а частично к новому месяцу. Следующий день назывался «новая Луна» и считался первым днем месяца. Составление календаря в Греции было делом не жрецов, а гражданских должностных лиц.

Двенадцать месяцев года имели различные, часто не совпадавшие названия в разных городах и местностях Греции. Конечно, афинские названия наиболее часто употреблялись в торговле и науке. В некоторых местах (например, в Афинах) год начинался летом, в других — в иное время года. Это еще раз свидетельствует об интеллектуальной раздробленности Греции на отдельные, едва связанные между собой небольшие единицы. Годы назывались по именам правивших должностных лиц, т. е. они также были различны в разных городах. Однако поздние авторы, кроме того, могли пользоваться для датировки прежних событий олимпиадами — повторявшимися через 4 года большими спортивными состязаниями в Олимпии.

Этот лунный календарь следовало приспосабливать к солнечному году, господствовавшему в работе и различных делах, т. е. в практической жизни. В руководстве по астрономии позднего автора Геминуса это выражено следующим образом: «Счет лет по Солнцу означает, что те же самые жертвоприношения богам совершались в одно и то же время года... Так как они считали, что это было приятно богам» [1]. Время года, несомненно, долго еще определялось, как описано у Гесиода, по восходам и заходам Солнца или по вечерним восходам заметных звезд. Наряду с этим возникла потребность более точно фиксировать год при помощи специального астрономического наблюдения. Наиболее удобным для этой цели явлением было летнее солнцестояние, т. е. день, когда Солнце достигает наибольшей высоты и поворачивает обратно, причем одновременно точки его восхода и захода смещаются к северу. В этом, вероятно, и заключается смысл сохранившегося предложения из утраченной исторической работы Теофраста о том, что афинский астроном Фейнос отмечал момент поворота Солнца по Ликабетосу, а Клеострат из Тенедоса по горе Иде (расположенной вблизи материка Малой Азии). Ликабетос — холм, располагавшийся к северо-западу от Афин (в центре современного города). Вырисовывавшийся на горизонте неправильный профиль горы позволял легко заметить и точно установить небольшие изменения азимута Солнца, восходящего на северо-востоке.

Приспособление лунного календаря к движению Солнца осуществлялось так же, как в Вавилоне, добавлением к некоторым годам тринадцатого месяца, т. е. удваиванием двенадцатого месяца. Вопрос об интеркаляции решался правившими должностными лицами, следовательно, до некоторой степени произвольно и различно в разных местах. Ясно, что астрономы пытались ввести на основании своих наблюдений лучшую интеркаляцию по твердым правилам. Уже упоминавшийся Клеострат из Тенедоса (ок. 500 или 520 гг. до н. э.), по свидетельству более поздних источников, первым ввел 8-летний период. Он охватывал 99 целых месяцев, что составляло 2922 дня. Отсюда следует, что длина года равнялась $365^1/_4$ дня, а длина синодического периода — 29,515 дня [2], что на 0,016 дня меньше истинного, так как 99 синодических периодов составляют в действительности $2923^1/_2$ дня. Отсюда уже вытекает, что 8-летний период должен был употребляться значительно раньше. Однако совершенно неясно, применялся ли он на практике где-либо в Греции.

Геминус сообщил, как улучшил этот период Эвдокс Книдский (408—355 гг. до н. э.), который каждые 16 лет прибавлял 3 дня, чтобы согласовать число месяцев с числом дней, а затем через 10 таких периодов опускал один дополнительный месяц для того, чтобы добиться согласия с солнечным годом. Однако нет указаний на то, что 16-летний или 160-летний периоды использовались на практике.

Уже до эпохи Эвдокса афинским астрономом Метоном (ок. 433 г. до н. э.), учеником Фейноса (который, по свидетельству Птолемея, проводил наблюдения совместно с Эвктемоном), был предложен другой цикл. Это был 19-летний период из 6940 дней, составляющих 235 месяцев. Это — тот самый «метонов цикл», который использовался также в Вавилоне и перешел во многие календари. Точно еще не известно, заимствовали ли греки знание этого периода у вавилонян, или же изобрели его самостоятельно. В Вавилоне он стал твердой основой хронологии только позднее, после 380 г. до н. э. В этом цикле год состоял из $365^5/_{19}$ дня, т. е. на $^1/_{76}$ дня больше обычного года из $365^1/_4$ дня, тогда как истинная продолжительность 235 синодических месяцев составляет 6939,69 дня. [Целью и задачей этого календарного периода было, по всей вероятности, установление точного числа дней, протекших между прежней и новой датами, особенно необходимого в астрономии.]

При включении тринадцатого месяца в некоторые годы, которые становились равными 384 дням вместо 354, явления, связанные с Солнцем,— солнцестояния, гелиакические восходы и заходы звезд — совершали неправильные скачки, то с каждым следующим годом уходя вперед на 11 дней, то опять возвращаясь обратно. Для того чтобы довести до сведения граждан эти скачкообразные изменения дат, устанавливались специальные столбы с

соответствующими определенным датам отверстиями, куда вставлялись колышки, указывающие предполагаемое явление. Другим средством оповещения были календари (*парапегмы* [3]). Сообщают, что Метон составил парапегму, которая начиналась со дня летнего солнцестояния, наблюдавшегося им в 432 г. до н. э.

[В таких календарях помещались на соответствующий год даты солнцестояний и равноденствий, сообщались моменты появления и исчезновения наиболее значительных звезд наряду с наставлениями и предсказаниями, связанными с погодой.]

Введение 19-летнего метонова цикла значительно упростило и урегулировало работу по составлению календаря. По номеру года в цикле можно было сразу узнать все даты в этом году, а в каждом следующем цикле они повторялись. Однако неизвестно, смог ли метонов цикл полностью заменить собой местные календари. Точно не известно, но возможно, что позднее, около 340 г. до н. э., он употреблялся в Афинах.

Однако и в этом случае оказалось, что такого цикла придерживались не точнее, чем вставных лет, что обнаруживается из документов; метонов цикл никогда не соответствовал регулярной повторяемости таких рядов.

В те же самые столетия, когда знание небесных тел и их периодов стало применяться на практике для измерения времени, развилась также и теоретическая наука — математика. Здесь, особенно в области теории чисел и геометрии, ум греков, склонный к размышлениям, выводу общих правил, к абстрагированию, смог создать обширную область непрерывно развивающегося знания, состоящего из далеко идущих утверждений и геометрических построений. Постепенно оно получило применение также и в астрономии.

[Уже упоминавшийся выше Эвдокс Книдский был знаменитым геометром. В истории астрономии он известен как автор первой в Греции теории прямого и попятного движения планет. В соответствии с представлениями того времени он принял, что каждая планета прикреплена к сфере, центром всех этих сфер является Земля, которая и приводит их в движение. Для того чтобы объяснить неравномерность планетных движений, он принял вместо одной множество гомоцентрических, т. е. вращающихся вокруг одного общего центра, сфер, причем каждая сфера обращалась совершенно равномерно [4].]

Для того чтобы хорошо понять его теорию, представим себе небесную сферу, вращающуюся вокруг горизонтальной оси, направленной с севера на юг (рис. 7). Пусть на экваторе небесной сферы укреплено тело, которое поднимается вертикально вверх на восток, доходит до зенита и опускается на запад, вертикально вниз (случай A).

Предположим, что ось наклонена на юг, кверху (случай B), например, на 10°. Тогда тело, восходя на востоке в то же самое время, отклоняется к северу, проходит в 10° севернее зенита и идет наклонно вниз к западу. Относительно тела, находящегося в A, оно колеблется к северу и обратно. При дальнейшем вращении оно отклоняется под горизонтом, на те же самые 10° к югу.

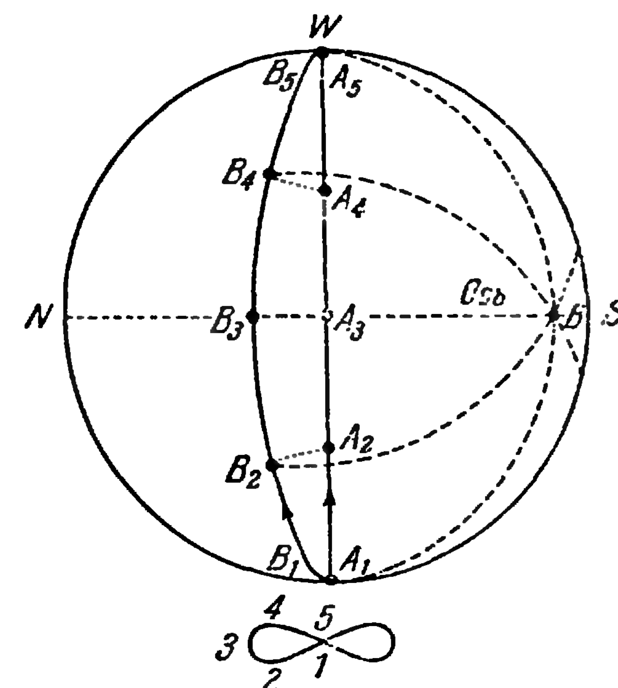


Рис. 7.

Кроме того, при восходе наклонно на востоке оно отстает от своего первоначального положения сперва на небольшую величину (B_2—A_2 на рисунке) — всего в 0°,5 (пропорционально квадрату наклонения), а затем догоняет его в зените (B_3—A_3). В B_4 оно снова уходит вперед на ту же величину. В этом относительном движении около A точка B описывает за полный оборот сферы фигурку, напоминающую петлю. Эту кривую греческие авторы называли *гиппопеде* («движение лошади»), потому что на манеже лошади также описывали фигуру в форме восьмерки [5].

Предположим теперь, что тело, находящееся в точке B, представляет собой планету, движущуюся с востока через B_2, B_3, B_4 на запад. Пусть вся небесная сфера с ее полюсами, скрепленная с планетой в точке B, вращается в противоположном направлении вокруг горизонтальной оси север — юг. Таким образом планета в то же самое время должна двигаться с запада на восток. В этом случае она будет описывать относительную орбиту, имеющую вид второй фигурки — гиппопеде. Планета покачивается влево и впра-

во, туда и обратно на 10°, и отклоняется на небольшую величину (пропорциональную квадрату угла наклона) вверх и вниз. Это колебание туда и обратно получается благодаря равномерному обращению двух связанных друг с другом сфер так, что ось первой из них скреплена с полюсами другой, которая благодаря этому совершает круговые движения. Теперь ось второй сферы вместе с полюсами лежит на эклиптике третьей сферы, которая обращается вокруг полюса эклиптики с запада на восток за время, равное периоду обращения планеты. При этом полюсы, пробегая по всей эклиптике, описывают ту же самую кривую — гиппопеде. Тогда, благодаря комбинации равномерного перемещения и колебательного движения вперед и назад, планета должна продвигаться на большой отрезок вперед и на маленький отрезочек назад. Время обращения двух первых сфер должно равняться периоду обращения планеты. И, наконец, ось вращения, скрепленная с полюсами эклиптики четвертой сферы, должна совершать один оборот в сутки вокруг оси небесной сферы с востока на запад. Таким образом выражаются все движения: суточное обращение по экватору, наклонное попятное движение планеты вдоль эклиптики и вращение в противоположную сторону.

Это было поистине замечательное, остроумное геометрическое объяснение неравномерного движения планет при помощи совершенно равномерных обращений четырех скрепленных друг с другом сфер, обращающихся вокруг одного и того же центра. Для Солнца и Луны, перемещающихся всегда в одном и том же направлении, оказалось достаточно трех сфер. Благодаря обращению третьей сферы, ось которой немного наклонена к осям других сфер, можно было также дать и наклон лунной орбиты относительно эклиптики, который использовался в вычислении. То, что мы знаем о деталях этой теории, было почерпнуто у Симплициуса, наиболее известного в V в. н. э. комментатора Аристотеля. Симплициус дал периоды, использованные Эвдоксом, но умолчал о наклонах осей двух образующих гиппопеде сфер. Итальянский астроном Скиапарелли, который объяснял эту теорию в свете современной науки, показал, что, приняв для Сатурна и Юпитера наклон осей, равный 6° и 13°, можно получить правильные значения дуг попятного движения — 6° и 8°, тогда как отклонения к северу и югу, составлявшие лишь 9′ и 44′, едва ли могли быть замечены в то время. Однако для Марса, с синодическим периодом в $2^1/_7$ года, не удалось получить попятного движения. Какой бы большой наклон ни принимать, остается еще медленное колебание относительно поступательного движения планеты. У Симплициуса для периода обращения внутренних сфер приводится время, в три раза более короткое: 8 месяцев 20 дней; вместе с тем при наклоне в 34° попятное движение в самом деле получается равным 16°. Отклонения по широте, полученные при помощи гиппопеде, доходят до 5° и, конечно, не совпадают с действительными изменениями широты планеты. Еще хуже то, что при таком времени обращения сфер за один период обращения Марса попятное движение должно наблюдаться трижды, за исключением противостояния, происходящего в двух отдаленных, менее хорошо видимых частях орбиты. Таким образом, здесь теория, геометрически столь остроумная, оказалась совершенно неудовлетворительной в представлении явлений. То же самое относится и к Венере. Очевидно, Эвдокс не располагал достаточно полными и точными рядами наблюдений для проверки своей теории. Эмпирическое знание планетных движений в Греции было еще весьма несовершенным; знали только в общем виде, качественно, что попятные движения бывают, но не больше; а о представлении более тонких деталей неравномерного движения они могли сказать еще меньше. Отсюда вновь становится ясно, что греческие ученые были не наблюдателями, не астрономами, а в высшей степени проницательными мыслителями и математиками. Эта теория Эвдокса памятна не как успех и надолго сохранившееся достижение астрономии, а как первая попытка в этом направлении и как памятник геометрической изобретательности.

И все же в отношении знания астрономических явлений также были достигнуты определенные успехи. Для счета времени необходимо было тщательно наблюдать Солнце и обращать внимание также на другие явления. Наблюдения равноденствий и солнцестояний обнаружили неравенство четырех времен года. Эвктемон дал их длину: 93 дня весны (считая от точки весеннего равноденствия до летнего солнцестояния); 90, 90 и 92 дня. Все же значения Эвктемона были еще не очень точны, так как истинные величины этих периодов составляют: 94,1; 92,2; 88,6 и 90,4 дня. Большого успеха в следующем веке добился известный астроном Каллипп из Цизикуса (между 370 и 300 гг. до н. э.), ученик Полемарха, который сам был учеником Эвдокса. Продолжительность времен года, которые он дал, начиная с весны, составляла: 94, 92, 89 и 90 дней, т. е. с точностью в пределах полусуток. Эта неравная продолжительность времени, необходимого Солнцу для прохождения четырех больших квадрантов эклиптики, означала, что скорость Солнца становилась попеременно то большей, то меньшей. По теории Эвдокса это приводило к тому, что Солнце также должно было описывать маленькую гиппопеде в 4°, которая попеременно то замедляла, то ускоряла его движение. Действительно, Симплициус упоминал, что Каллипп для Солнца и Луны прибавлял к трем сферам Эвдокса еще по две сферы, что можно было объяснить стремлением устранить этот недостаток. Кроме того, он упоминал, правда, без дальнейших подробностей, о дополнении

к четырем сферам для Марса и Венеры пятой сферы. Можно предполагать, что это делалось для устранения недостатков эвдоксового объяснения. Во всяком случае, при помощи трех вращающихся одна около другой сфер можно получить движение по долготе в прямом и обратном направлениях; достаточно быстро можно получить также и попятное движение Марса за один синодический период в $2^1/_7$ года. Однако как именно сделал это Каллипп — мы не знаем. Но в любом случае его большая геометрическая одаренность очевидна.

Каллиппу приписывают также (ок. 334 г. до н. э.) улучшение метонова 19-летнего цикла. Объединив четыре таких цикла, т. е. взяв 76-летний период и опустив при этом 1 день (т. е. взяв $4\times\times 19$ лет = 940 месяцев = 27 759 дней), получим длину года, равную точно $365^1/_4$ дня (на $^1/_{76}$ дня больше действительного значения). Синодический период будет составлять $29^d12^h44^m25^s,5$ (на 22^s больше истинного). Первый каллиппов цикл начался с 330 г. до н. э. Но он использовался только учеными, чаще всего в парапегмах, а не в официальных положениях о календаре.

ГЛАВА 11

СИСТЕМЫ МИРА

Аристотель (384—322 гг. до н. э.) из Стагира (город на побережье Македонии) был учеником Платона и в ранних работах следовал идеям своего учителя. Однако позднее он развил оригинальные представления о мире[1]. Тогда как для Платона идеи составляли реальный мир, а наблюдаемые явления казались лишь их обманчивым проявлением, для Аристотеля реальным миром был мир явлений, а идеи — выражением их глубочайшей сущности. Видимый мир явлений возникал, по его мнению, под воздействием «идей», которые придавали бесформенной материи форму и определенность.

Мир явлений обнаруживал постоянное изменение и развитие, возникновение и разрушение, тогда как сущность вещей оставалась вечной и неизменной. Цель науки (единая во всей Греции) заключалась в познании этой неизменной сущности при помощи умственной силы абстракции. Абстрактные представления вытекали из конкретных фактов наблюдавшихся явлений. Следовательно, Аристотель более, чем его предшественники, подчеркивал важность тщательного наблюдения и описания всех деталей в мире исследуемых явлений. Его работы представляли собой энциклопедию всех знаний того времени: явлений природы, животного мира и человеческого общества; политики, этики и искусства.

С другой стороны, следовало показать, что частное — есть продукт общей идеи. Для этого множество явлений выводилось из общих понятий, таким образом устанавливалась их необходимая истинность. Полученное знание было результатом логического рассуждения по методу дедукции. Это приводило к такой форме представления, при которой описываемые явления рассматривались как результат размышления, выведенный из предполагаемой сущности вещей, из их истинной внутренней природы и из общих принципов. Благодаря этому выводы, полученные аристотелевской наукой, которые представляли собой логический результат установленных принципов, с современной точки зрения нередко кажутся искусственными рассуждениями, носящими весьма догматический характер. Вместе с тем связность и всесторонняя

продуманность делают аристотелевскую картину мира внутренне весьма логичной и вносят в нее прекрасную гармонию.

Вселенная, по Аристотелю, имеет полную радиальную и сферическую симметрию. Мир состоит из вложенных друг в друга гомоцентрических сфер и сферических поверхностей. Простые движения по прямым линиям происходят вдоль всех радиусов, в направлении к центру мира или от него. Круговое движение есть движение около центра, а прямолинейное — движение вверх и вниз. Вверх — означает от центра, вниз — к центру. Отсюда следует, что всякое простое движение — есть движение от центра, к центру или около центра [2].

Существовавший в анаксагоровой картине мира контраст между радиально-сферическим строением окружающего неба и плоскопрямоугольной структурой всего, находящегося на земной поверхности, здесь был совершенно устранен; сведе́ние анаксагорового прямоугольного мира к небольшому фрагменту, вырванному из большого земного шара, сильно расширило картину мира.

Вслед за Платоном и другими своими предшественниками Аристотель предположил, что земная часть мира состоит из четырех элементов: земли, воды, воздуха и огня, которые в этой последовательности расположены друг над другом в виде концентрических сфер. Из-за того, что каждый из них, сместившись со своего естественного места, стремится вновь занять прежнее положение, возникает естественное движение тяжелых элементов вниз, к центру, а более легких (воздуха и огня) — вверх, где они приходят в состояние покоя. Элемент «огонь» не следует понимать как земное пламя. Тепло и свет небесных тел возникают из-за трения, вызванного их движением в воздухе, который при этом нагревается [3].

В высоких слоях, где воздух и огонь смешаны, собираются поднявшиеся снизу пары, и когда они загораются, мы наблюдаем их как падающие звезды и кометы [4]. Движение небесных тел — не прямолинейно и конечно; оно происходит по кругу, вечно и неизменно повторяясь. [Изменения никогда не наблюдаются в этом мире. [5]] Таким образом, небесные тела отличны от четырех земных элементов; они состоят из пятого элемента (quinta essentia) — эфира, более совершенного, чем все остальные. Принцип, по которому построены звезды, божествен, вечен и разумен.

Область эфира доходит до Луны; ниже Луны расположен смешанный район, где начинается «подлунный мир» из четырех земных элементов.

Земля покоится в центре вселенной. Так как все тяжелые частицы стремятся к центру, они собираются здесь и образуют твердое тело Земли. В пользу того, что любое движение противоречит природе Земли, приводились пространные доказательства. Из-за того, что тяжелые части сдавливают друг друга, пытаясь как можно ближе подойти к центру, ограничивающей их внешней поверхностью должна быть сфера, описанная около центра, так что центр Земли совпадает с центром вселенной. Более того, сферическая форма Земли доказывается наблюдаемыми явлениями. Граница земной тени во время лунных затмений не могла бы быть столь искривленной, как мы это видим, если бы Земля не была шарообразна. Земля не может быть очень большой, так как небольшое путешествие к северу или югу изменяет горизонт; в Египте и на Кипре видны те звезды, которые невидимы в Греции. Математики, пытавшиеся определить ее окружность, дали значение, равное 400 000 стадий.

Вселенная конечна и сферична. Она должна быть конечной, во-первых, потому, что если бы она была бесконечной — простой или сложной, один из ее элементов должен был бы быть бесконечным, а тогда не осталось бы места для других. Во-вторых, движения этих элементов должны быть круговыми, а бесконечный круг не может существовать; в-третьих, бесконечное не может иметь центра, а вселенная должна иметь центр. То, что вселенная сферична, доказывается прежде всего тем, что она совершенна, а сфера — единственная совершенная фигура; кроме того, при своем обращении сфера всегда занимает то же самое пространство [6]. Это позволило также допустить сферическую форму и других элементов. То, что Луна шарообразна, мы видим по граничной линии между ее темной и освещенной частями. Звезды также должны быть шарообразны, потому что они не могут двигаться самостоятельно,— они не могут иметь органов передвижения, и так как «природа ничего не делает случайно», сферическая форма для них приспособлена лучше всего. Эти доказательства могут служить образцом рассуждений, которыми пользовался Аристотель при выводе явлений из общих принципов и идей.

Что касается строения небесных тел, то здесь Аристотель полностью соглашался со своим современником и другом Каллиппом. Однако для него гомоцентрические сферы были не просто геометрическим понятием, а вполне реальными, окружающими друг друга прозрачными хрустальными оболочками.

Движущая сила исходила из самой внешней небесной сферы суточного обращения, которая и приводила в движение все остальное, причем эта сила последовательно передавалась от одной сферы к другой, в направлении центра. Это означает, что из четырех сфер самой внешней планеты — Сатурна — вращение трех внутренних сфер (производящих его прямое и попятное обращение вдоль эклиптики за 29 лет) должно было нейтрализоваться тремя внутренними сферами, вращающимися в противоположную сторону так, чтобы на следующую планету действовало только

суточное вращение. Это предполагалось и для всех остальных планет, кроме Луны, которая была самой последней.

В дополнение к тридцати трем сферам Каллиппа (по 4 для Сатурна и Юпитера, по 5 для Марса, Венеры, Меркурия, Солнца и Луны) системе Аристотеля требовалось еще $2\times3+4\times4$ (22) вращающиеся в обратном направлении сферы, а всего 55 твердых хрустальных сферических оболочек для того, чтобы представить всевозможные движения небесных тел.

Его поздний комментатор Симплициус указывает, что сам Аристотель не был полностью удовлетворен этой теорией. Ведь уже Полемарху было известно, что планета Марс в противостоянии (во время своего попятного движения), а также Венера (при попятном движении) были значительно ярче, чем в другие моменты, тогда как по теории концентрических сфер они должны были всегда оставаться на одинаковом расстоянии от Земли. При этом, однако, следует учесть, что во времена Аристотеля не существовало еще других теорий для объяснения планетных движений. Позднее они появились, но все же аристотелевская картина мира в целом сохранялась на протяжении следующих столетий, вплоть до XVII в. Это показывает, насколько хорошо такое первое компактное и гармоничное представление вселенной соответствовало простому научному эксперименту тех времен.

Это не означает, что не существовало и других теорий строения мира. В V в. до н. э. Греция переживала период экономического подъема и достигла политического могущества, что привело в IV в. до н. э. к расцвету науки и искусства. Именно в это время развития глубокого философского мышления мы и наблюдаем возникновение смелых идей о строении мира и новых теоретических представлений о вселенной.

Современник Аристотеля Гераклид Понтийский (388—315 или 313 гг. до н. э.) из города Гераклеи на Понте (т. е. на Черном море) также был учеником Платона. Его многочисленные и разнообразные по тематике сочинения до нас не дошли. Поэтому о философских и космологических представлениях Гераклида мы узнаем только из примерно совпадающих друг с другом сообщений поздних авторов. Так, Симплициус говорит: «Гераклид Понтийский заявил, что может спасти (т. е. объяснить) явления, предположив, что Земля находится в центре мира и вращается, тогда как небо покоится» [7]. И дальше: «...Есть такие, как Гераклид Понтийский и Аристарх, которые полагают, что явления могут быть спасены, если небо и звезды находятся в покое, тогда как Земля движется вокруг полюсов экватора с запада, завершая одно обращение за каждые сутки, приблизительно...» [8]. То же самое встречается у Аэция: «Гераклид Понтийский и Экфант пифагореец заставляют Землю двигаться не поступательно, а вращательно, около своей оси, наподобие колеса, с запада на восток вокруг собственного центра» [9]. Читая эти цитаты, нельзя сомневаться в том, что Гераклид для того, чтобы объяснить суточное вращение небесной сферы со звездами, заставил Землю вращаться в направлении с запада на восток вокруг оси, проходящей через полюсы неба. То, что в некоторых цитатах это вращение характеризуется как движение «по кругу», привело позднее ряд авторов — Скиапарелли в XIX в. и несколько лет спустя математика Ван дер Вардена — к мысли, что Гераклид отстаивал орбитальное движение Земли. Однако ясно, что в цитатах речь идет о замене суточного вращения небесной сферы. Круговая орбита, вводившаяся для того, чтобы небесная сфера оставалась неподвижной, встречалась уже у Филолая в его теории суточного обращения Земли вокруг центрального огня. В связи с этим Цицерон упоминал также имя Гикетаса Сиракузского, о котором известно очень немногое.

Учение о вращении Земли вокруг своей оси получило таким образом определенное распространение среди греческих мыслителей.

Несомненно, греческие мореплаватели уже давно заметили, что при медленном и плавном движении корабля можно почувствовать не само это перемещение, а лишь случайные его нерегулярности. И все же от этого установленного на опыте факта было еще далеко до идеи движения Земли. Ведь тогда даже такой столь непосредственно из опыта установленный факт, как суточное вращение неба, считался кажущимся (видимым отражением совершенно иного в действительности движения), потому что убеждение в неподвижности Земли под ногами было весьма твердым. Появление теорий движения Земли доказывает независимость ума и глубину мышления их авторов, позволившие им преодолеть старые предрассудки и обеспечившие грекам такое исключительное место в развитии науки. Но все же эта блестящая идея не смогла в следующие столетия противостоять простой логике аристотелевской системы мира.

Гераклиду приписывали еще одно новшество в астрономической теории, касающееся движения Венеры и Меркурия. Всегда существовало различие мнений относительно их места в последовательности планет. Некоторые авторы помещали Венеру и Меркурий над Солнцем так, что Солнце близко подходило к Луне. Другие авторы помещали Венеру и Меркурий под Солнцем, между Солнцем и Луной. Этот вопрос решился тем, что орбиты обеих планет были представлены окружностями, в центре которых находится Солнце. Такая идея в значительной степени подтверждалась тем фактом, что эти планеты в своем видимом движении совершали колебательные движения вправо и влево от Солнца, удаляясь от него на определенное расстояние. Аристотель

совершенно не касался этих явлений, так как они действительно не соответствовали его системе мира. Только у многих позднеримских авторов появились упоминания об этом взгляде, связываемые ими с именем Гераклида.

Эта идея представляла собой переходную ступень к еще более далеко идущему обновлению космологической картины мира, внесенному Аристархом Самосским (ок. 310—230 гг. до н. э.) [10]. Он является единственным (что несомненно установлено, хотя некоторые исследователи приписывают это также Гераклиду и Платону), кто расположил Солнце в центре, а Землю заставил вращаться вокруг него. Об этом мы знаем не из сочинений Аристарха, а из работ других авторов. Из его же трудов сохранился только один, но в нем ничего не говорится о строении мира. Однако он может служить указанием на то, как Аристарх пришел к своей теории; он важен для выяснения научных методов того времени. Это сочинение «О размерах и расстояниях Солнца и Луны» сохранилось в последующие века только потому, что было составной частью много раз переписывавшейся компиляции — «Малого сочинения», составленного из полдюжины сочинений различных авторов, где проблемы небесной сферы и явления движений, восходов и заходов излагались более просто, чем в птолемеевом «Большом сочинении».

Как содержание, так и форма трактата Аристарха дают своеобразное представление о характере греческой науки. По примеру большого геометрического труда Эвклида, он состоит из ряда вытекающих друг из друга геометрических теорем (всего их 18), которым предшествуют шесть «гипотез», т. е. основных положений. Среди последних наиболее существенны: 2) «что Луна получает свой свет от Солнца»; 4) «что, когда мы наблюдаем половину Луны, ее расстояние от Солнца меньше прямого угла на одну тридцатую его часть» (т. е. составляет 87°); 5) «что ширина (земной) тени равна ширине двух Лун»; 6) «что диаметр Луны равен одной пятнадцатой части знака зодиака», т. е. 2°. И далее: «Итак, доказано: (1) что расстояние Солнца от Земли больше, чем 18, и меньше, чем 20 расстояний от Луны до Земли (это следует из пункта 4 о половинной Луне); (2) что диаметр Солнца имеет то же отношение к диаметру Луны; и (3) что отношение диаметра Солнца к диаметру Земли больше $^{19}/_{3}$, но меньше $^{43}/_{6}$; это следует из отношения расстояний, полученных на основании гипотезы о тени и о том, что Луна стягивает $^{1}/_{15}$ зодиакального знака» [11]. После этого вступления следуют десятки страниц с геометрическими теоремами и их доказательствами. Этот греческий математик смог выбрать себе место вне Земли, откуда ему удалось увидеть ее и все эти небесные тела, как похожие друг на друга шары; он рассекал их и охватывавшие их теневые конусы плоскостями, рисовал эти сечения как круги и треугольники и применял к ним строгий эвклидовский метод доказательства. Таким образом, важная задача была поставлена и решена как геометрическая лемма [12].

Здесь первый раз в истории астрономической науки мы встречаемся с непосредственным определением расстояний небесных тел по наблюдательным данным.

Это можно поистине назвать началом современной астрономии. Полученный Аристархом вывод о том, что Солнце примерно в 19 раз дальше Луны, в течение двадцати столетий оставался прочной составной частью астрономии. Произошло это прежде всего потому, что очень много времени и труда отнимало установление и доказательство тех теорем, с которыми в настоящее время любой школьник справится за несколько минут: отношение расстояний Луны и Солнца есть синус 3°, т. е. 1 : 19,1. С другой стороны, данные наблюдений — эмпирической основы всякого доказательства — представлялись в виде нескольких линий, без какого-либо объяснения деталей, как предполагавшаяся гипотеза. Этот принцип совершенно противоположен принятому в современной науке, где все внимание уделяется методам наблюдения, их обсуждению и способам передачи эмпирических данных.

Кроме того, при геометрической обработке приходилось в оценке точности сталкиваться с неопределенной формой результата: больше чем — меньше чем. Греческие математики не работали с приближенными значениями иррациональных чисел, которые составляют любую основу современного вычисления, хотя они и открыли их существование. Для них числа всегда были точно взятыми количествами целых или неделимых величин. Отношение, выраженное, например, так: $\sin 3° = 0{,}0523$, было им неизвестно; они работали только с точными числами, такими, как: 18, 20, $^{3}/_{5}$ и т. д. При количественных оценках они могли вывести только те числа, которые были больше или меньше, чем требующаяся величина. В этом они часто проявляли большую изобретательность; но это делало их геометрические доказательства довольно неуклюжими.

Важным для дальнейшего развития астрономии был метод Аристарха, изложенный в пятнадцатой теореме, касающейся вывода размера Солнца по сравнению с Землей. Ее суть можно кратко выразить следующим образом: тень, наблюдаемая при лунном затмении, есть сечение конуса тени (касательного к Солнцу и Земле) на расстоянии Луны; это сечение в соответствии с пятой гипотезой есть удвоенный лунный диаметр, т. е. $^{2}/_{19}$ солнечного диаметра (так как Солнце в 19 раз больше Луны). Расстояние вершины тени от полной Луны в этом случае должно быть равным $^{2}/_{19}$ ее расстояния от Солнца; следовательно, $^{17}/_{19}$ остается для расстояния от полной Луны до Солнца. Одна двадцатая последнего

есть расстояние от Луны до Земли, оставшиеся $^{19}/_{20}$ — расстояние от Солнца до Земли. Выраженные в целых длинах тени, они имеют вид: $^{1}/_{20}\times{}^{17}/_{19}$ и $^{19}/_{20}\times{}^{17}/_{19}$, $^{17}/_{20}$. Расстояние от Земли до вершины тени в тех же единицах будет теперь: $^{1}/_{20}\times{}^{17}/_{19}+{}^{2}/_{19}={}^{3}/_{20}$; это есть также и отношение их диаметров. Отношение диаметров Земли и Луны равно 57 : 20.

В трактате Аристарха, который не знал числа 19, это было выполнено с большой точностью в терминах «больше чем» и «меньше чем»; отношение, как уже упоминалось, оказалось заключенным в пределах между $^{19}/_{3}$ и $^{43}/_{6}$. Следует заметить, что не были использованы никакие иные данные, кроме 87° и размеров земной тени по сравнению с диаметром Луны; в противоположность тому, что Аристарх говорит во вступлении, видимый диаметр Луны не использован; он понадобился бы только в том случае, если бы диаметры сравнивались с расстояниями.

Ничего не говорилось о том, как были получены основные данные. Эти греческие ученые были скорее геометрами, чем астрономами; небесные тела как бы случайно оказались объектами их геометрических построений. Следовательно, астрономические величины рассматривались несколько поверхностно, точная их величина не имела значения; изобретательность проявлялась только в методах решения геометрических задач. Мы не знаем, какие наблюдения были положены в основу этих расчетов. То, что можно было наблюдать половину диска Луны на расстоянии в 3° от точной квадратуры,— слишком большая переоценка; в действительности это расстояние составляет всего 10′; но возможно, что бо́льшая величина зависит от несколько грубой оценки. Тот факт, что такую величину использовали как средство для измерения расстояний, свидетельствовал о большой изобретательности и глубоком мышлении. Иначе обстоит дело с видимым диаметром Солнца и Луны, принимавшемся равным 2°. Это настолько противоречит истинному значению в $^{1}/_{2}$°, которое можно установить самым простым наблюдением, что трудно даже подобрать соответствующее объяснение: ошибки в переписывании старых манускриптов (но там ясно написано: пятнадцатая, а не шестидесятая (!) часть зодиака); вавилонские традиции (но там действительное значение было уже известно); даже умышленное включение неверного значения для того, чтобы фиксировать внимание исключительно на геометрическом методе. Какое из этих объяснений правильно, мы не знаем; приходится принять сам факт. Младший современник Аристарха великий математик Архимед Сиракузский (287—212 гг. до н. э.) [13] упоминал об установлении им того, что диаметр Солнца (а следовательно, также и Луны) составляет $^{1}/_{720}$ знака зодиака, т. е. $^{1}/_{2}$°. Это открытие Архимеда, следовательно, должно было быть сделано позднее.

Однако диаметры являлись лишь численными характеристиками, действительное же представление о небесном теле давал его объем. Аристарх говорил также: «Солнце находится к Земле в отношении, большем чем 6859 : 27..., но меньшем чем 79507 : 216», подразумевая здесь объемы. Если диаметр Солнца заключен между $^{19}/_{3}$ и $^{43}/_{6}$ частями диаметра Земли, то его объем должен заключаться между 254 и 368 объемами Земли.

Возможно, что именно эти большие размеры Солнца внушили Аристарху идею о том, что Солнцу не свойственно обращаться вокруг значительно меньшей Земли и что, напротив, оно само должно находиться в центре. Мы не знаем его соображений, но факт, что он расположил Солнце в центре, установлен с полной ясностью из того, что говорил об этом Архимед в своем «Исчислении песчинок» (216 г. до н. э.). В этом сочинении Архимед подсчитывает количество песчинок, которое смогло бы заполнить вселенную, для того чтобы показать, что там, где греческая система чисел не давала возможности выразить столь большие числа (до 10^{63}), можно было придумать иные методы для рационального их выражения. Высказавшись о размерах Земли и планетной системы, Архимед продолжал: «Но Аристарх Самосский выпустил сочинение с некоторыми гипотезами, из которых вытекало заключение о том, что вселенная во много раз больше, чем только что упоминалось. Он предположил, что звезды и Солнце неподвижны; что Земля обращается вокруг Солнца по окружности, с Солнцем в центре, и что сфера неподвижных звезд, расположенная вокруг того же самого центра, так велика, что окружность, по которой обращается Земля, находится в таком отношении к расстоянию неподвижных звезд, как центр сферы относится к ее поверхности». При этом Аристарх имел в виду, что Земля, рассматриваемая как центр, находится в том же отношении к тому, что мы называем миром, как поверхность сферы, по которой движется круг, где она располагается, к сфере неподвижных звезд» [14]. Таким образом, несомненно, что это была гелиоцентрическая система мира, однако без всякой детализации причин и следствий. Не давали этих деталей и поздние авторы, упоминавшие об Аристархе и его теории. Очевидно, она вообще не нашла приверженцев [15]. Ее не разрабатывали — она оставалась смелой, изобретательной, но изолированной идеей. Гелиоцентрическая теория еще не могла воплотиться в жизнь как неизбежная необходимость; астрономия сначала должна была найти иные пути дальнейшего развития.

ГЛАВА 12

ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ И АСТРОЛОГИЯ

Александр фон Гумбольдт во втором томе своей знаменитой книги «Космос» дал живую картину расширения кругозора, происшедшего в греческом мире благодаря завоеваниям Александра Македонского. Теперь в орбиту греческой торговли, исследования и культуры были вовлечены не только могущественная Персидская империя (а следовательно, и вся Передняя Азия), до того времени почти недоступная, но стали известны и более отдаленные районы, такие как Бактрия, Туркестан и часть Индии. Эти страны, с новыми для греков явлениями природы, горами, пустынями и степями, растениями и животными, иными народами с другим образом жизни, а также подверженный приливам Индийский океан,— все стало досягаемым. Однако еще более важным было описанное Гумбольдтом непосредственное расширение объема знаний, происшедшее в результате слияния греческого и восточного миров при новом экономическом и политическом развитии. Вслед за победоносной армией шли торговцы и ремесленники из Греции, эмигрировавшие во вновь открытые районы Передней Азии и селившиеся здесь как в старых, так и в новых городах. Богатства, собранные в сокровищницах персидских царей и их сатрапов, теперь рассеивались как военная добыча или расходовались новыми правителями на строительство прилегающих дорог, сооружение храмов и гаваней, стимулируя таким образом торговлю и ремесла. Более простое и оживленное сообщение по старым и новым маршрутам связало греческую торговлю с Индией, Аравией и Африкой, явилось новым источником богатства и развития культуры. Существенным в этом развитии были способности и энергия греческих граждан, выступавших в качестве должностных лиц и дельцов, что способствовало более интенсивной, чем при прежних правителях, эксплуатации плодородных долин Ефрата, Оронто и дельты Нила.

Таким образом во всех этих странах выросли большие и богатые города, такие как Александрия, Антиохия, Смирна, Эфес, Никея и т. п., которые стали центрами торговли и новой промышленности. Во всех этих больших и малых городах, кроме торговцев,

ремесленников и зажиточных ветеранов, жили землевладельцы и должностные лица, которые управляли деревней. Как и в греческой метрополии, эти города имели почти полное самоуправление, а следовательно, и большую гражданскую свободу, хотя здесь и властвовали цари, нарушавшие внутренний мир своих государств частыми войнами. Кроме этих монархий, на острове Родос была и свободная республика торговцев (сравнимая по своей организации с более поздними Венецией и Генуей), торговля которой более столетия господствовала в восточной части Средиземного моря. Таков был мир «эллинизма», экономическое процветание которого пробудило также и усиление интеллектуальной активности. Эти страны и города стали колыбелью новой эллинистической культуры. По сравнению с ними сама Древняя Греция отошла на задний план. Она стала безлюдной и впала в состояние варварства. Ее города опустились до уровня провинциальных городишек, за исключением некоторых центров, таких как Коринф и Фессалоника (все еще принимавших участие в морской торговле) и Афины, которые благодаря прежним традициям Платона и Аристотеля, сохранявшимся теперь в их Академии и философских школах, оставались центром культуры, искусства и философии.

Расцвет эллинистического мира длился два столетия. Затем наступил период завоеваний и ограбления этих земель римскими легионами, владычества Рима и включения их в состав Римской империи. Жители (частично даже похищенные в качестве рабов) стали учителями западного мира, а греческая наука вошла как составная часть в более грубую и утилитарную культуру римских господ.

Сила эллинистической культуры заключается в том, что восточный и греческий элементы слились в ней в единое целое. Особенно на примере астрономии мы видим, как вавилонский эллинизм и знание фактов объединились с греческой независимостью мышления и теоретической силой абстракции. Знакомство с вавилонскими методами наблюдения, а возможно, также и с их инструментами побудило греческих ученых стать наблюдателями. Вавилонские результаты для периодов и неравенств, которые до тех пор оставались просто численными данными, в руках греков стали основой для геометрических построений и привели к концепциям пространственной картины мира. Вавилоняне, напротив, попали под влияние греческой теории; так, например, среди тех, кто учил о вращении Земли, называли также халдея Селевка.

Центр мировой торговли того времени Александрия — большой торговый город и столица Египетского царства, управлявшаяся должностными лицами греческого происхождения,— была тогда и научным центром. Там греческие цари Птолемеи основали храм

муз «Музеум», знаменитый своей библиотекой, куда отовсюду собирались рукописи; сюда были созваны в качестве руководителей самые знаменитые ученые, которые составили нечто вроде Академии. Кроме философии, медицины и математики, здесь процветала также и астрономия. И все же размах и регулярность наблюдений в Александрии, конечно, нельзя сравнить с работой вавилонских жрецов. Об их инструментах также достоверно ничего не известно. Эвклид в своей астрономической работе «О явлениях» упомянул только *диоптр*, но еще не прикрепленный к градуированному кругу, а служащий только для фиксирования двух противоположных точек горизонта. Однако Птолемей не только упоминал астрономов первого Александрийского периода (между 296 и 272 гг. до н. э.) — Аристилла и Тимохариса, но и привел измеренные ими «широты относительно экватора» (т. е. склонения) ряда звезд и, кроме того, долго́ты. Следовательно, они пользовались инструментами с градуированными кругами. Другим инструментом, который они употребляли для календарных целей, было экваториальное кольцо, расположенное перед храмами в Александрии, на Родосе и, возможно, в других городах. Оно представляло собой невысокий цилиндр, верхний и нижний края которого ориентировались точно в направлении экваториальной плоскости; тень южной половины на внутренней стороне северной половины оставляла узкую полоску света по верхнюю или нижнюю сторону экватора. Таким образом можно было фиксировать точный момент равноденствия.

Географ Эратосфен из Кирены, современник Архимеда, был одним из первых директоров Александрийской библиотеки. Кроме географического описания всего известного тогда мира, он определил размеры Земли. Позднее Клеомед, живший в период правления императора Августа, в своей «Круговой теории небесных явлений» дал подробное описание примененного Эратосфеном метода. В городе Сиене на юге Египта дно глубокого вертикального колодца освещалось Солнцем в самый длинный день (в году), так что Солнце тогда стояло точно в зените. В Александрии же, расположенной севернее, тень, отбрасываемая на чашу солнечных часов, составляла в этот день $^1/_{50}$ полного круга. Таким образом, расстояние между этими городами должно было равняться примерно $^1/_{50}$ окружности Земли. Так как это расстояние оказалось равным 5000 стадий (что было измерено по времени, за которое царские вестники пробегали это расстояние), окружность Земли должна была составлять 250 000 стадий. В настоящее время много спорят о длине использованной в данном случае стадии; если взять как наиболее вероятное значение 157 метров, то результат Эратосфена очень близко подойдет к истинной величине окружности Земли. В той же самой книге Клеомед упоминает ученого — стоика Посидония (135—51 гг. до н. э.), применившего тот же самый принцип к яркой южной звезде Канопусу, которая на Родосе как раз касается южного горизонта, а в Александрии достигает высоты в $7^1/_2°$. На основании расстояния между этими пунктами по морю, оцененного в 5000 стадий, была найдена величина окружности Земли в 240 000 стадий.

Эратосфену приписывается также определение наклона эклиптики. Эвдокс дал ее как дугу окружности, стягивающую сторону правильного пятнадцатиугольника, т. е. 24°. По Эратосфену разность между высотами Солнца в летние и зимние солнцестояния равна примерно $^{11}/_{83}$ окружности; это соответствует наклону в 23°51′, т. е. очень близко к истинному значению. Из сказанного ясно, что дуга измерялась не в градусах, а в долях окружности, как в геодезии. Это позволяет сделать заключение о том, что деление на градусы в то время еще не применялось. Однако такой вывод полностью опровергает измерения александрийских астрономов, упоминаемых Птолемеем.

Гиппарх из Никеи, который жил и работал (ок. 162—126 гг. до н. э.) главным образом на Родосе, считается величайшим среди астрономов Древней Греции. Из его сочинений сохранилось только одно; но его труд, заключавшийся как в практическом наблюдении, так и в обновлении теории, был известен поздним авторам, особенно Птолемею, которые о нем и сообщили. Птолемей упоминал три его трактата: «О длине года», «Об интеркаляции месяцев и дней» и «Об изменении солнцестояний и равноденствий» [1]. Во втором трактате он улучшил 76-летний календарный период Каллиппа, повторив его четыре раза и отбросив один день. Тогда лунный период составит: $111035 : 3\,760 = 29^d, 53058 = 29^d12^h44^m2^s,5$, что вполне совпадает с лучшими халдейскими данными и всего на одну секунду короче истинного значения. Длина года, таким образом, на $^1/_{300}$ дня короче каллипповского года, равного точно $365^1/_4$ дня, т. е. $365^d5^h55^m16^s$. Гиппарх выяснил, что следует различать два определения года, и объяснил, что по существу длина года зависит не от возвращения Солнца к одним и тем же звездам, а от возвращения его от одного равноденствия или солнцестояния (которые определяют времена года) к следующему [2]. Он упомянул летнее солнцестояние, наблюдавшееся Аристархом в 280 г. до н. э., сравнив его с одним из солнцестояний, которые он сам наблюдал в 135 г. до н. э., и нашел промежуток времени на полдня меньше $145 \cdot 365^1/_4$ дня, в соответствии с тем, что длина года на $^1/_{300}$ короче упомянутого периода. Так как момент солнцестояния едва ли можно было определить с точностью до половины дня, он сам подчеркнул неопределенность этого «малого» различия; конечно, он должен был использовать также и другие данные. Ведь сам Птолемей упоминал шесть осенних и три весенних равноденствия,

наблюдавшихся Гиппархом между 162 и 128 годами до н. э., вероятно, при помощи вышеупомянутого экваториального кольца. Птолемей говорил, что ошибки «больше одной четверти дня» также могут здесь встречаться, и отметил недостаточную устойчивость инструмента, так как иногда колебания в освещении верхнего и нижнего ободка экваториального кольца происходили дважды в день. Это, однако, имело другую причину — рефракцию. Когда Солнце весной еще не достигло равноденствия, рефракция сразу же после его восхода могла поднять его с южной стороны экватора на северную; затем Солнце погружалось обратно при быстром уменьшении рефракции, и часом позднее действительно пересекало экватор. Следует заметить, что ошибка за 145-летний интервал должна быть все же больше — для гиппарховой длины тропического года, приведенной выше, она на $^1/_{200}$ дня больше (его действительное значение было $365^d5^h48^m56^s$), так же как и соответствующее ему вавилонское значение.

Возвращение Солнца к одним и тем же звездам, т. е. сидерический период его обращения, приводившийся в халдейских таблицах, был больше, чем $365^1/_4$ дня. Причина этого расхождения заключается в отступлении назад точки весеннего равноденствия, так называемой *прецессии*. Ее обнаружение было самым значительным открытием Гиппарха. Так как в халдейских таблицах при подсчете долгот изменяющегося нуль-пункта это явление обнаруживалось всегда, нередки были утверждения о том, что Гиппарх заимствовал это знание у вавилонян, хотя и было установлено, что именно он впервые обнаружил простое непрерывное перемещение точки весенного равноденствия, происходящее с правильной закономерностью. Величина прецессии была выведена при сравнении прежних наблюдений, выполненных в Александрии, с его собственными, проведенными позднее.

Птолемей так передал эту историю: «В своем сочинении „Об изменении солнцестояний и равноденствий“ Гиппарх при точном сравнении наблюдений лунных затмений, выполненных в его время, с теми, которые раньше наблюдал Тимохарис, пришел к заключению, что в его время Спика опережала осеннее равноденствие на 6°, а во времена Тимохариса — на 8° [3]».

В середине затмения Луна стоит точно напротив Солнца, и его долготу можно вывести из его склонения, т. е. измеряя полуденную высоту Солнца, [или из уже известного по солнечным таблицам предполагаемого движения Солнца]. Таким образом, измеряя расстояния Спики от затмившейся Луны, можно вывести долготу Солнца, т. е. его расстояние от точки весеннего равноденствия.

Из этого изменения в 2° за период около 169 лет было выведено годичное изменение в 45″. Любопытно, что это значение не встречается у Гиппарха, т. е. его нет в книге Птолемея, но что

последний цитирует из его сочинения «О длине года» следующее: «Если по этой причине солнцестояния и равноденствия за один год отступают по меньшей мере на $^1/_{100}$ градуса, то они должны отступать по крайней мере на 3° за 300 лет» [4].

Эта величина — 1° в 100 лет, т. е. 36″ в год (на 14″ меньше истинной),— без оговорки «по крайней мере» была использована Птолемеем в дальнейшем как величина, выведенная Гиппархом. То, что имеет место смещение звезд параллельно эклиптике, было показано при сравнении склонений восемнадцати звезд, измеренных ранее Тимохарисом или Аристиллом, а позднее — Гиппархом. Как сообщил Птолемей, с одной стороны небесной сферы они возрастали (при движении к северу); с другой стороны убывали (при движении к югу). Максимальная величина смещения составляла около 1°. Таким образом Гиппарх заключил, что звезды двигались равномерно вокруг полюсов эклиптики, или скорее (в соответствии с заглавием его сочинения), что равноденственные точки вместе со скрепленным с ними экватором регулярно отступали назад вдоль эклиптики, проходя через знаки зодиака.

Неравенство четырех сезонов, в течение которых Солнце описывало четыре равных квадранта эклиптики, было уже хорошо известно Каллиппу, данные которого были приведены раньше. Птолемей приписывал Гиппарху вывод более точных значений: $94^1/_2$ дня для весны, $92^1/_2$ дня для лета, так что для полугодия между осенним и весенним равноденствиями остается $178^1/_4$ дня. Эти значения почти точно совпадают с величинами, включенными в халдейские таблицы того времени: 94,50; 92,73 и 178,03 (сравни стр. 78). Таким образом возможно, что он заимствовал свои значения из вавилонских источников. Мы ничего не знаем о его собственных наблюдениях такого рода, хотя он и проводил наблюдения равноденствий и солнцестояний, о небольшой части которых сообщал Птолемей. Однако великая заслуга Гиппарха состоит в его теоретическом объяснении этого неравенства посредством эксцентрической окружности, которую Солнце описывает около Земли.

Предполагалось, что, следуя своей внутренней природе и необходимости гармонии, небесные тела описывают круговые орбиты совершенно равномерно. Из-за того, что Земля находится не в центре этого круга, скорость Солнца представляется нам неравномерно возрастающей и убывающей между наибольшим значением в перигее и наименьшим — в апогее (наиболее удаленной точке). Насколько далеко отстоит Земля от центра круга (т. е. каков эксцентриситет круга) и в каком направлении, Гиппарх легко мог вывести из продолжительности сезонов при помощи простых отношений линий и дуг круга (как показано на рис. 8), которые могут рассматриваться как первые начала тригонометрии.

Гиппарху приписывалось также и составление первой таблицы хорд для всех дуг. Он нашел эксцентриситет равным $^1/_{24}$ радиуса и долготу апогея в 65°30′.

В этом объяснении неравенств движения при помощи пространственного построения системы небесных тел, свидетельствующем одновременно о склонности к теории, о силе абстракции и о высоком развитии геометрии, греческий ум, как мы видим, проявился в полную силу.

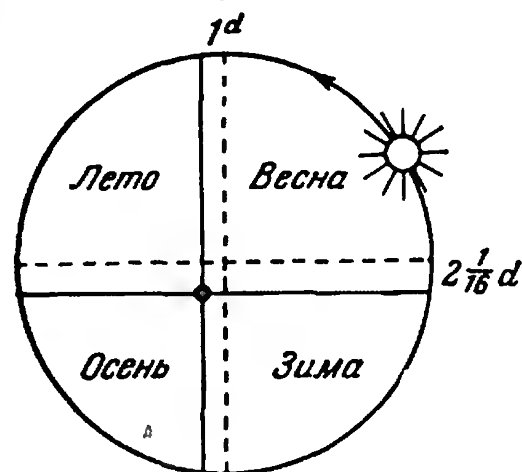


Рис. 8.

Гиппарх значительно развил также и представление о движении Луны, которому прежде греки уделяли мало внимания. Он наблюдал несколько затмений между 146 и 135 годами до н. э. Птолемей рассказывал, что, сравнивая их с прежними халдейскими наблюдениями затмений, Гиппарх вывел более точные периоды, чем те, которые имели в своем распоряжении «прежние астрономы». Предполагалось, что эти слова относятся к вавилонским астрономам, жившим до Гиппарха, но так как известно, что точно такие же значения употреблялись в халдейских таблицах того времени и что они должны были, следовательно, быть известны еще раньше,—предполагают, что Гиппарх заимствовал это знание периодов из Вавилона. Весьма вероятно, хотя мы и не знаем точных подробностей, что в эти столетия происходил некоторый интеллектуальный обмен между Вавилоном и эллинистическим миром. Затмения показывают, что возвращение Луны в тот же самый узел (так называемое «возвращение широты») и возвращение к наибольшей скорости (так называемое «возвращение аномалии») происходят с периодами, отличными от возвращения к той же самой звезде. Вместо периода Сароса «еще более древних» (вавилонских астрономов), равного $6585^1/_3$ дня = 223 синодическим периодам = 239 возвращениям аномалии = 242 возвращениям широты = 241 обращению по долготе + $10^2/_3$°, Гиппарх ввел более длинный интервал времени: 126 007 дней + 1 час = = 4267 синодическим периодам = 4573 возвращениям аномалии = =4612 обращениям — $7^1/_2$°= примерно 345 обращениям Солнца. Более того, 5458 синодических периодов составляют 5923 возвращения широты. Отсюда вытекает, что продолжительность синодического периода равна $29^d12^h44^m3^s,3$ (лишь на $0^s,4$ больше истинного) и звездного обращения — $27^d7^h43^m13^s,1$ (всего на $1^s,7$ больше истинного), т. е. оба значения были весьма точны.

Из подробного описания, сделанного Птолемеем, видно, что при отборе затмений и комбинировании их для определения периодов Гиппарх не просто заимствовал вавилонские значения, а внимательно проверял их. Для объяснения переменной скорости движения он принял эксцентрический круг как для орбиты Луны, так и для Солнца.

В случае Луны долгота апогея, конечно, не постоянна, так как за 4612 обращений Луна проходит через апогей на 39 раз меньше, т. е. 4573 раза; следовательно, апогей перемещается в том же самом направлении, что и сама Луна, но в 118 раз медленнее, и завершает обращение за девять лет.

Один из более поздних авторов, Прокл, в V в. н. э. описал инструмент, при помощи которого Гиппарх пытался измерять диаметры Солнца и Луны и даже их изменения. Он состоял из длинной рейки, снабженной на одном конце пластинкой с неподвижным отверстием для визирования, а на другом — подвижной пластинкой с двумя отверстиями, расположенными одно над другим. Рейка направлялась на низко стоящее Солнце (или Луну), а подвижная пластинка перемещалась до тех пор, пока верхний и нижний края небесного тела не становились видны через оба отверстия. Об измерениях при помощи этого инструмента ничего не известно.

На основании того факта, что при солнечном затмении (вероятно, 129 г. до н. э.) [5] было полным в Геллеспонте, в Александрии было закрыто лишь $^4/_5$ солнечного диска, Гиппарх смог найти параллакс Луны (т. е. расстояние ее от Земли), воспользовавшись хорошо известным расстоянием между этими пунктами, выражавшимся в земных радиусах.

Ему приписывался и другой остроумный метод определения лунного параллакса: на основании измерения размеров земной тени в тех местах, где через нее проходит Луна. Из рис. 9 мы можем сразу же увидеть простое отношение углов, обозначенных буквами. В треугольнике Луна — Земля — Солнце $\angle a + \angle b = \angle c + \angle d$, или, иными словами: параллакс Солнца плюс параллакс Луны равны радиусу тени плюс радиус Солнца, как они видны с Земли. Так как параллакс Солнца очень мал, лунный параллакс определяется лишь с небольшой ошибкой как сумма видимых радиусов Солнца и тени.

Полагают также, что Гиппарх составил первый каталог неподвижных звезд, причем их места на небе определялись долготой и широтой относительно эклиптики. Обычно считают, что он составил главную часть каталога, который Птолемей привел в своем труде три столетия спустя. Есть основания думать, что список Гиппарха включал в себя примерно 850 звезд, к которым Птолемей прибавил еще 170.

Инструмент, применявшийся для определения положений, не упомянут; вероятно, он был инструментом того вида, который позже называли «армиллярной сферой», или «армиллой». [Эта кольцевая сфера состояла из вращающихся одно в другом колец, которые представляли собой круги на небесной сфере; поверх них находились кольца, изображавшие меридианы и экватор, связанные

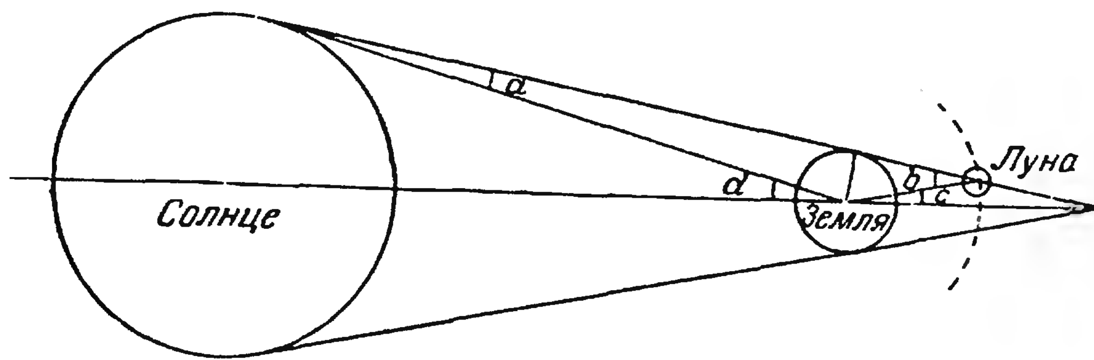


Рис. 9. Конус земной тени.

с часовым кругом и эклиптикой. При помощи Солнца, Луны или известных звезд инструмент и его вращающиеся круги приводились в правильное положение, после чего можно было отсчитывать долготу и широту звезды, на которую направлялась визирная линейка с диоптром, по градуированным кругам.]

Римский автор Плиний (около 70 г. н. э.) утверждает, что эта работа была предпринята потому, что Гиппарх «открыл новую звезду и другую звезду, которая появилась в то время». Именно поэтому он подсчитал звезды и определил их положения при помощи инструментов.

Отсюда неясно, действительно ли «новая», вспыхнувшая во времена Гиппарха, была новой звездой, или же он спутал ее с переменной звездой, подобной Мире Кита, которая то появляется, то исчезает. Возможно также, что его работа была просто результатом возросшего в то время интереса к звездам и созвездиям. Как социальное явление этот интерес проявился в единственном дошедшем до нас сочинении Гиппарха — критическом комментарии на составленное Аратом поэтическое описание звездного неба.

Этот интерес западного мира к астрономии возник под воздействием Вавилона, где астрология имела большое влияние. В период до Александра греческая астрономия в общем была свободна от астрологии, хотя часто проявлялась (например, Эвдоксом) вера в то, что небесные тела влияли на погоду. Но в эллинистическом мире астрология, вместе со всей восточной наукой, распространилась быстро и повсеместно.

Мы уже упоминали, что в III в. до н. э. вавилонянин Берос преподавал на острове Кос историю вавилонской культуры. В Александрии около 160 г. до н. э. появился трактат по астрологии, предполагаемыми авторами которого были Нахепсо и Петосирис (предположительно — два египетских жреца более раннего времени); все поздние книги по астрологии часто многое заимствовали из этого источника. Философская школа стоиков занималась распространением астрологических учений, которые вполне соответствовали их доктрине о единстве всего человечества со вселенной. Так, Посидоний, уже упомянутый как писатель, ученый и знаменитый философ, работы которого, однако, полностью утрачены (за исключением некоторых фрагментов, сохраненных другими), учил о всеобщем расположении друг к другу и сочувствии (симпатии) между земными и небесными мирами. Ему принадлежало также хорошо известное изложение различия между астрономической и физической науками: для астронома приемлемо любое объяснение, которое «спасает» (т. е. объясняет) явления, тогда как физик должен выводить истину, объясняя их, исходя из первопричин и действующих сил. Это, естественно, означает, что астрономия имеет совершенно иную цель, чем абстрактное знание, а именно практически вычисляет положения и движения небесных тел. Таким образом единственное значение астрономических вычислений заключается в том, что они служат вспомогательным средством для высшей цели — предопределения человеческой судьбы.

[Как повсеместно распространенный образ мышления астрология проникла с эллинистического Востока в Римскую империю. Здесь она нашла благоприятную для своего развития почву. В последние столетия до нашей эры Рим, распираемый властью и богатством, добытыми в результате завоевания стран древней культуры, опустошали жестокие гражданские войны, подвергавшие жизнь и благосостояние граждан постоянной опасности. Астрология снова стала неотделимой составной частью культуры Востока. Ее господство в теоретических доктринах ученых, писателей и философов нашло отражение в изобилии грубых суеверий и пророчеств [6].

Однако в греко-римском мире астрология приобрела совершенно иной характер, чем в Древнем Вавилоне. Там боги выражали свои намерения относительно человеческого мира при помощи неправильных движений ярких светил по небесному своду, причем это касалось только судеб высшего мира — государств, монархов и народов, на которые великие боги — властители блестящих планет — обращали особое внимание. Так определялись начало войны, победа или поражение, дождь и засуха, наводнения или опустошения. Маленьким же людям приходилось прибегать к своим

местным, менее значительным божествам. В греческом же мире, где чувство индивидуальности было сильно развито в силу политической раздробленности городов-государств, астрология также приобрела более индивидуальный характер. Это положение сохранилось и у римлян] [7]. Теперь планеты стали небесными телами, движение которых можно было теоретически предсказывать. Таким образом их движение стали считать не признаком земных событий, а их причиной.

Жизнь каждого человека, так же как метеорологические и политические явления, стала подвластна звездам. Таким образом гороскоп, который выводил события, происходящие в жизни данного лица, из положения звезд в момент его рождения, стал главной целью и содержанием астрологической практики. По мере того, как гипотезы о существовании простой связи между земными событиями и небесными явлениями все чаще опровергались практикой, соответствующие правила и указания стали усложняться, превращаясь, естественно, в более произвольные [8]. В результате взаимного влияния двух культур в этот период появлялись также гороскопы, составленные на отдельное лицо, но в виде халдейских клинописных текстов.

Благодаря широкому распространению астрологических предсказаний астрономия в древности оказалась в центре интересов общества. Ведь она была наиболее практической наукой, по существу единственной, которая и заслуживала названия науки; она находилась в гуще жизни и использовалась не только для счета времени и календаря, но прежде всего для установления глубокой связи между движениями звезд и судьбами людей [9]. Намеки на небесные явления нередко встречались в произведениях поэтов и прозаиков того времени. Однако широкого распространения достигла и собственно астрономическая литература, большая часть которой была впоследствии утрачена.

Отмечалось, что Эвдокс первым составил детальное описание неба, созвездий и их звезд. Арат (живший около 270 г. до н. э. при дворе македонского царя Антигона Гоната) переложил его на стихи. Это великое поэтическое творение «О явлениях» пользовалось известностью на протяжении всей античности. Его читали и преподавали в школах, из него черпали все мифы и легенды о возникновении «по велению богов» созвездий. Сохранилась работа великого математика Эвклида, дающая математическую теорию к поэтическому описанию Арата в виде более наглядного представления кругов на небесной сфере, их обращений и вытекающих отсюда явлений восхода и захода. Впоследствии все это было кратко названо «сферикой», т. е. учением о сфере (небесной сфере). Повсеместная распространенность поэмы Арата и обусловила появление известного сочинения Гиппарха о ней и ее источнике

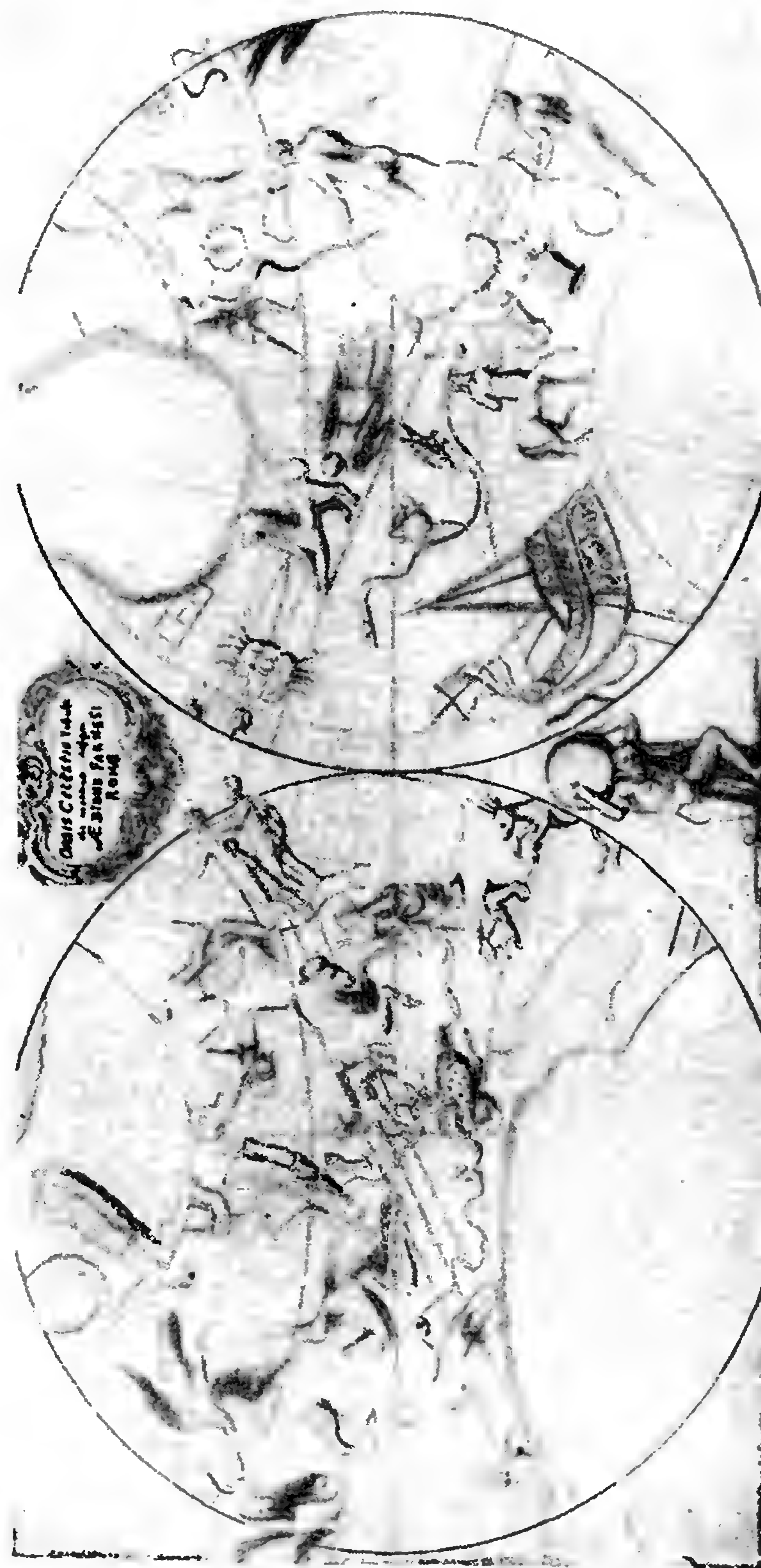


Рис. 10. Созвездия в атласе Фарнезе (чистые места, кроме области возле южного полюса,— поврежденные части глобуса и места, где его касаются руки Атланта).

(работе Эвдокса), в котором давалась их обстоятельная критика. Этому сочинению в древности придавалось важное значение, особенно потому, что оно было единственной из сохранившихся работ Гиппарха.

Известны также многие другие популярные астрономические сочинения этого и более поздних столетий: латинскую поэму Манилия (ок. 10 г. н. э.) о звездах высоко ценили как литературное произведение; еще позднее славилось поэтическое описание неба, составленное Гигинусом. Была известна солидная работа Геминуса (ок. 70 г. до н. э.) об астрономии в целом (дающая нам много ценных деталей ее истории), и работа Клеомеда «Круговая теория небесных явлений».

Многочисленность и распространенность подобных литературных произведений показывает, насколько живой наукой была в то время астрономия и как сильно укрепилось ее положение в обществе.

Кроме этих книг существовали для астрологических целей альманахи с заранее вычисленными положениями планет, фрагменты из которых найдены в одном из египетских папирусов. Упоминались также небесные глобусы как пособие для изображения неба и для преподавания; например, глобус Архимеда, привезенный в Рим консулом Марселлом после завоевания Сиракуз. На таких глобусах сами звезды часто опускались, а наносились только фигуры созвездий. Отсюда ясно, что астрологические воздействия считались исходящими от самих созвездий, например Льва, Водолея и Скорпиона, а не от отдельных звезд. Атлас Фарнезе может служить в качестве примера; в нем изображена статуя Атланта, гиганта, державшего на плечах небесный глобус; гравюра с нее, выполненная в XVIII в. Мартином Фулкесом и опубликованная в бентлевском издании поэмы Манилия, представлена здесь в уменьшенном масштабе (рис. 10). Кажется, строились также и механические модели систем мира — эти своего рода планетарии, но то, что они представляли, уже было более высокоразвитой теорией строения мира.

ГЛАВА 13

ТЕОРИЯ ЭПИЦИКЛОВ

Теория эпициклов представляла собой первое удовлетворительное объяснение нерегулярного движения планет. По теории эпициклов предполагалось, что планета описывает небольшой круг (эпицикл), центр которого движется по большому кругу вокруг Земли, находящейся в центре вселенной. Эта теория была естественным следствием учения Гераклида о том, что Венера и Меркурий описывают круги вокруг Солнца. Из-за того, что Солнце в своем годичном движении вокруг Земли увлекало за собой эти круги, казалось, что каждая из планет поочередно переходит с правой стороны от Солнца на левую.

При наблюдении с Земли они должны были поочередно проходить то длинный отрезок пути в одном направлении с Солнцем, но более быстро, то короткий отрезок в противоположном направлении.

В действительности такое же чередование более длительного прямого движения и более короткого попятного наблюдалось также и у других планет. Таким образом, в руках исследователей оказалась система, состоявшая из двух круговых орбит: меньшей, по которой двигалась планета, и большей — так называемого деферента, т. е. ведущего круга, по которому вокруг Земли двигался центр эпицикла. Здесь этот центр был лишь воображаемой точкой, тогда как у Венеры и Меркурия в этой точке находилось Солнце.

При этом следует обратить внимание на то, что греки и все те, кто позднее заимствовал у них эту теорию, считали эпициклы жестко скрепленными с радиусом Земли, так что самая низкая точка (ближе всего подходившая к Земле) постоянно оставалась самой низкой. Время обращения планеты по эпициклу отсчитывалось всегда от наинизшей точки и равнялось синодическому периоду планеты. Прохождение планеты через низшую точку является серединой попятного движения. Для Венеры и Меркурия это — нижнее соединение с Солнцем; для других планет — это противостояние относительно Солнца.

Теория эпициклов не только давала значительно более простое и точное представление прямого и попятного движений планет,

чем вращающиеся сферы Эвдокса и Аристотеля, но и объясняла переменную яркость Венеры и Марса как результат изменяющегося расстояния планет от Земли. Эти изменения легко подсчитать. Относительный размер эпицикла и деферента для Венеры и Меркурия вытекает из их наибольшего удаления (элонгации) вправо или влево от Солнца.

Исходя из элонгаций в 46° для Венеры и 22° для Меркурия, мы находим следующее отношение радиусов эпицикла и деферента: 0,37 и 0,72. Точно так же для других планет это отношение определяется по наибольшему отклонению планеты вправо или влево от невидимого, правильно перемещающегося центра эпицикла.

Для Марса это отклонение оказалось равным 42°, тогда радиус эпицикла равен 0,67. Отсюда следует, что Марс в наиболее удаленной точке своей орбиты находится примерно в 5 раз дальше от Земли, чем в самой близкой ее точке, отношение этих расстояний составляет 1,67 : 0,33.

Часто задают вопрос, почему греческие астрономы, ознакомившись с гелиоцентрической системой мира Аристарха, вернулись назад, к более примитивным геоцентрическим представлениям. Мы, конечно, не можем искать ответ в том объяснении, которое дал известный историк астрономии Поль Теннери. Он считал, что древним грекам недоставало гениальности для создания новых представлений о мире[1]. В этом отношении греков, безусловно, упрекнуть нельзя. Причина должна быть прежде всего в том, что теория эпициклов представляла собой наиболее естественный путь развития греческой науки.

Система мира, предложенная Аристархом, была гениальной фантазией, а не необходимым следствием известных фактов. В первую очередь, эта система утверждала, что объем Солнца значительно больше объема Земли. В связи с этим говорили, что и сердце — это вместилище жизни и души — также находится вне физического центра тяжести человеческого тела. [По сравнению с логически стройным аристотелевским физическим учением о небесных и земных элементах предложенная Аристархом система мира была недостаточно обоснованной. К тому же, зарождавшаяся в то время наука о движениях планет описывала эти движения лишь в самых общих чертах. Эти знания надо было сначала представить в виде простейшей теории. Ею и оказалась теория эпициклов. Она давала наиболее простое пространственное представление тех явлений, которые наблюдались на небе.] В непризнании системы мира Аристарха, возможно, играло роль и общественное влияние, особенно всеобщая вера в астрологию, которая являлась практическим приложением науки. Для астрологии важны не теории относительно физической природы небесных тел, а только практичные таблицы для вычисления их видимых движений. Астрология была не только безразлична, но решительно враждебна изучению физического строения тел, которое должно было разрушать примитивную веру в то, что звезды, двигаясь по своим орбитам, могли предсказывать судьбу людей. Поэтому легко понять слова Клеанта, вождя стоиков, что «греки должны были обвинить Аристарха Самосского за нечестивое намерение привести в движение Сердце вселенной»[2], т. е. Землю.

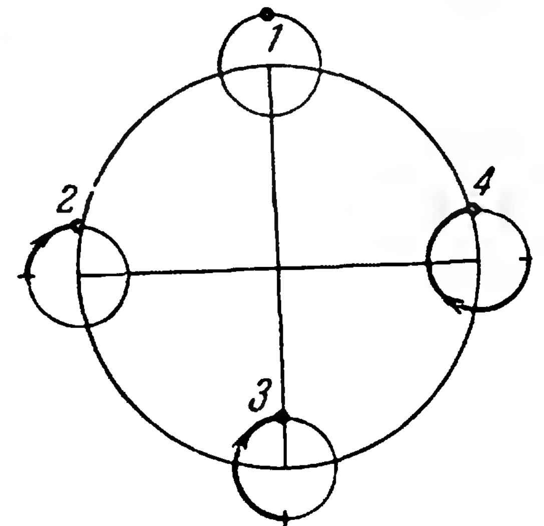


Рис. 11.

Должно быть, теория эпициклов возникла в III в. до н. э. Первое определенное сообщение о ней связано с именем великого математика Аполлония Пергского (ок. 230 г. до н. э.), основателя геометрической теории конических сечений. Птолемей передает одну из его геометрических теорем, касающихся моментов стояния планет. Халдейские астрономы тщательно наблюдали эти стояния, затем вычисляли их и вносили в свои таблицы как важную, основную часть учения о планетных движениях. Греческая теория должна была показать, что ту же самую задачу об определении момента и положения стояний можно решить так же хорошо или даже лучше при помощи иных вспомогательных средств. Птолемей сообщил и о том, как Аполлоний решал эту проблему, сводя вычисление к чисто геометрической задаче: провести от Земли линию, пересекающую эпицикл таким образом, чтобы полученные отрезки находились в простом отношении[3].

В следующем столетии теорией эпициклов занимался Гиппарх, который и придал ей классическую форму. Он доказал, что движение по эпициклу, описываемое за тот же период, но в противоположном направлении концентрическим кругом, который является орбитой ее центра, точно соответствует движению по эксцентрическому кругу. Это сразу можно увидеть на рис. 11, где в точках *1*, *2*, *3* и *4* находится прикрепленный сверху круг. Следовательно, можно использовать обе модели. У планет, не считая их колебаний взад и вперед при движении по эпициклу, скорость перемещения вдоль деферента также была переменной — большей в одной части эклиптики и меньшей в противоположной части. Поэтому Гиппарх и принял эксцентрический круг. По аналогии с планетами отдавалось предпочтение эксцентрическому кругу также и для Солнца.

По Птолемею Гиппарх уже очень хорошо знал, что попятные движения планет не всегда имеют одинаковую величину, т. е. эти движения оказались более неравномерными, чем предполагали прежние астрономы. Из не очень ясного утверждения Плиния (жившего на два столетия позже), что самый отдаленный апогей Сатурна расположен в Скорпионе, Юпитера — в Деве, а Марса — во Льве, следует, что раньше (возможно, в эпоху самого Гиппарха) существовало какое-то качественное знание этих нерегулярностей. Но Птолемей не располагал достаточным числом наблюдений, выполненных его предшественниками, для завершения теории и дополнения ее численными величинами. Поэтому он и ограничился собиранием новых данных. «Человек, который во всех областях математики достиг такой глубины и так сильно любящий истину» [4], не мог согласиться с изложением теории только в общих чертах. Он должен был определить численные значения орбитальных движений на основании наблюдаемых явлений и показать, что они могут быть удовлетворительно представлены при помощи равномерно вращающихся кругов. Однако это было невозможно сделать на основании имевшихся у него данных.

Это стало делом самого Птолемея, который, таким образом, довел теорию эпициклов до совершенства. Он говорил, что первым исправил планетные периоды Гиппарха при помощи своих собственных, более совершенных наблюдений. Они оказались следующими:

Сатурн	57 с. п. = 59 л. + $1^{3}/_{4}$ дн. = 2 об. + 1°43′
Юпитер	65 с. п. = 71 г. + $^{49}/_{10}$ дн. = 6 об. — 4°50′
Марс	37 с. п. = 79 л. + $3^{13}/_{60}$ дн. = 42 об. + 3°10′
Венера	5 с. п. = 8 л. — $2^{3}/_{10}$ дн. = 8 об. — 2°15′
Меркурий	145 с. п. = 46 л. + $1^{1}/_{30}$ дн. = 46 об. + 1°

Здесь с. п.— синодический период, г., л.— число лет, дн.— число дней, об.— число обращений.

Это — те же самые кратные числа, которые знали и использовали вавилоняне. Для первых трех планет синодический период (т. е. обращение по эпициклу) завершался, когда Солнце догоняло планету; при отбрасывании небольших остатков эти периоды составляют $^{59}/_{57}$; $^{71}/_{65}$ и $^{79}/_{37}$ года, а периоды обращения по деференту $^{59}/_{2}$; $^{71}/_{6}$ и $^{79}/_{42}$ года. Для двух других планет период обращения равен точно одному году. Что касается точности, то при добавлении небольших остатков эти данные, полученные греческими астрономами, вполне сравнимы с халдейскими значениями; угловые остатки можно округлить до полуградуса.

Птолемей при определении движения планет, особенно трех первых из них, вынужден был разделить задачу на две части: 1) движение центра эпицикла по деференту и 2) движение пла-

неты по эпициклу. Для первой он должен был исключать колебания из-за эпицикла и наблюдать планету тогда, когда она была видна точно в том же направлении, что и центр эпицикла, т. е. когда она стоит перед этой точкой. Как мог он это узнать? В противостоянии планета находится напротив Солнца. По основному принципу теории эпициклов радиус эпицикла, связывающий его центр с планетой, поворачивается равномерно за тот же самый промежуток времени, за который Солнце описывает свой круг, и поэтому всегда имеет то же направление в пространстве, что и радиус солнечной орбиты.

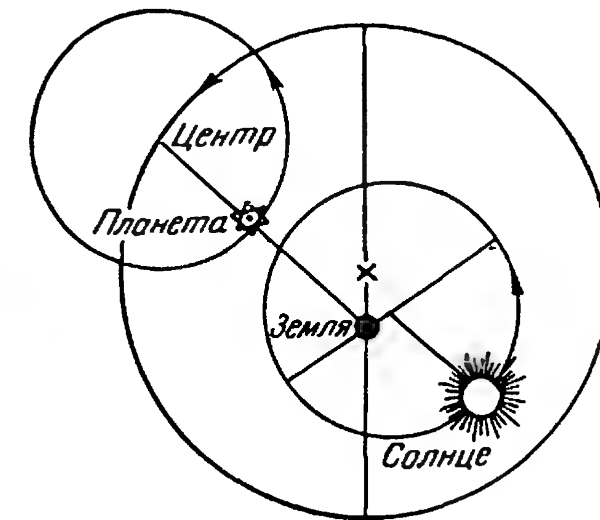


Рис. 12.

Следовательно, планета будет стоять точно перед центром (как показано на рис. 12) тогда, когда ее долгот будет отличаться от долготы Солнца на 180°, если смотреть из центра солнечной орбиты. Иными словами, планета находится в противостоянии не с реальным, а со «средним Солнцем», которое совершает свое годичное обращение строго равномерно (неважно, где было видно с Земли действительное Солнце). Следовательно, наблюдаемая долгота планеты как раз и есть искомая долгота центра эпицикла.

Для практического вычисления необходима масса наблюдений противостояний [планеты с Солнцем] в течение многих следующих друг за другом дней. Птолемей наблюдал соединения планет с близкими к ним яркими звездами или Луной, а также проводил непосредственные измерения при помощи инструмента с градуированными кругами, который он назвал «астролябон» и который соответствует более поздней «армилле» [или кольцевой сфере. Планета наблюдалась через два противолежащие отверстия в верхней подвижной части кольца]. Из наблюдавшихся долгот можно было вывести как точные моменты противостояния планет со «средним Солнцем» и друг с другом, так и его долготу.

Если мы знаем геоцентрическую долготу центра эпицикла для трех удаленных друг от друга моментов, можно определить положение Земли внутри этого круга. Оно может быть также построено геометрически на чертеже или вычислено. Так как движение по эксцентру происходит равномерно, то по интервалам времени можно найти три положения на окружности. Это — та самая

задача, которая впоследствии в геодезии получила название «задачи Снеллиуса»: определить положение пункта, измеряя направления из него на три окружающих его известных пункта. Эта задача могла быть решена непосредственно.

Здесь Птолемей, однако, встретил трудность. Он говорил об этом: «Теперь при продолжительном точном сравнении движения, установленного из наблюдения, с результатами, полученными из комбинации этих гипотез, мы нашли, однако, что поступательное движение совсем не может быть таким простым... Эпициклы не могут иметь центров, движущихся по таким эксцентрическим кругам, которые, если смотреть на них из центра (этих кругов), описывают равные углы за равные промежутки времени» [5]. Иначе говоря, центр эпицикла должен описывать эксцентрический круг, т. е. круг с центром вне Земли, но таким образом, что его движение выглядит равномерным при наблюдении не из этого центра, а из другой точки («punctum aequans»), т. е. уравнивающей точки, «экванта», расположенной на таком же расстоянии от центра, как и Земля, но только с другой стороны. Это означает, как показывает рис. 13, что в действительности центр эпицикла описывает эксцентр не равномерно; в перигее, вдали от уравнивающей точки, планета движется быстрее, а в апогее, вблизи этой точки — медленнее.

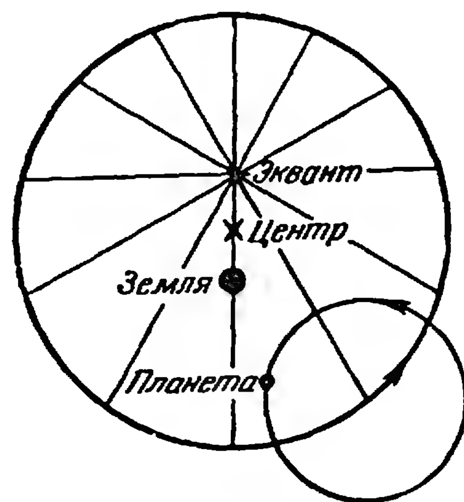


Рис. 13.

Хотя основной принцип греческой космологии — все небесные движения круговые и равномерные — получил признание, в действительности планеты нарушали такое объяснение тем, что движение казалось равномерным лишь при наблюдении из другой точки.

Но наблюдаемые таким образом движения планет можно было представить наиболее совершенно. Птолемей не указывает, на основании каких наблюдений он пришел к этой теории. Он только говорит: «мы нашли, что...».

Однако легко видеть, какие явления должны были привести к этому. Расстояние Земли от центра большого круга (которое является его действительным эксцентриситетом) определяет изменяющиеся размеры видимого эпицикла, наблюдающегося при различных колебаниях планеты по обе стороны от центра эпицикла. Расстояние Земли от точки, в которой угловое движение ее кажется равномерным, определяется изменениями скорости центра эпицикла, который кажется движущимся вдоль эклиптики.

Точное положение круга и его центра при этом имеют второстепенное значение. Наблюдения должны были показать, что в последнем случае эксцентриситет получался вдвое большим, чем в первом случае. Таким образом, расстояние уравнивающей точки от Земли вдвое больше расстояния от центра до Земли. Или, говоря словами Птолемея: «Эксцентриситет, выведенный по наибольшему отклонению аномалии относительно эклиптики, оказался вдвое больше эксцентриситета, выведенного из попятного движения в случае наибольшего и наименьшего расстояния эпицикла» [6].

То, что отношение этих эксцентриситетов должно быть точно равно двум, было простым предположением, которое, однако, доказывало, что это — лишь удачный удар, попавший в цель. Для Солнца, которое само движется по эксцентрическому кругу, такая особенность не могла обнаружиться. Эксцентриситет, найденный для него Гиппархом, соответствовал большому или двойному планетному эксцентриситету.

Первой задачей Птолемея было теперь вывести эксцентриситет и направление на апогей деферента для Марса, Юпитера и Сатурна по трем противостояниям. Для Марса он получил из наблюдений следующие значения:

(1) в 15 г. эры Адриана 26/27 египетского месяца тиби, т. е. 15/16 декабря 130 г. н. э., в час ночи долгота была 81°;

(2) в 19 г. эры Адриана 6/7 месяца фармути, т. е. 21 февраля 135 г. н. э., в 9 часов вечера долгота была 148°50′;

(3) во втором году эры Антонина 12/13 месяца эпифи, т. е. 27 мая 139 г. н. э., в 10 часов вечера долгота была 242°34′.

Из интервалов времени, отбрасывая целое число обращений, вычислим углы между направлениями, как они видны из экванта: 81°44′ и 95°28′; между направлениями, как они видны с Земли, эти углы равны: 67°50′ и 93°44′. Эти данные представлены на рис. 14.

Задачу нельзя было решить прямо; Птолемей решал ее методом последовательных приближений. Прежде всего он предположил, что кривая, описанная около экванта,— окружность. Тогда задача, поставленная выше, может быть решена непосредственно, при помощи геометрических теорем Эвклида и вычисленных самим Птолемеем таблиц хорд для всех углов — прототипа наших более поздних таблиц синусов. В результате был получен большой эксцентриситет, половина которого равна той величине, на которую следовало передвинуть окружность. Теперь он снова вычислял, насколько от этого смещения изменяются направления, видимые с Земли, и повторял вычисление с исправленными значениями долгот во втором приближении. Для третьего приближения требуются весьма небольшие поправки, которые целиком удовлетворяют исходным данным. В этих расчетах, которые он

полностью привел в приложении, Птолемей применил метод приближения в виде сходящегося ряда, который играл такую важную роль в более поздней математике.

Полученные таким образом результаты для полного эксцентриситета, выраженные в 360-х долях радиуса, и долготы апогея равны: для Марса $^{72}/_{360}$ = 0,200 и 115°30′; для Юпитера $^{33}/_{360}$ = 0,092 и 161°; для Сатурна $^{41}/_{360}$ = 0,114 и 233°.

Сравнив их с теми значениями, которые по современным данным были истинными для того времени, получим: для Марса 0,186 и 121°; для Юпитера 0,096 и 164°; для Сатурна 0,112 и 239°. Таким образом, оказалось, что представление планетных орбит Птолемея было очень близко к действительности. [Это означает, что форма и положение планетных орбит были довольно хорошо установлены уже по грубым наблюдениям. Кроме того, это снова доказывало, насколько хорошо теория эпициклов могла представлять действительные движения планет.]

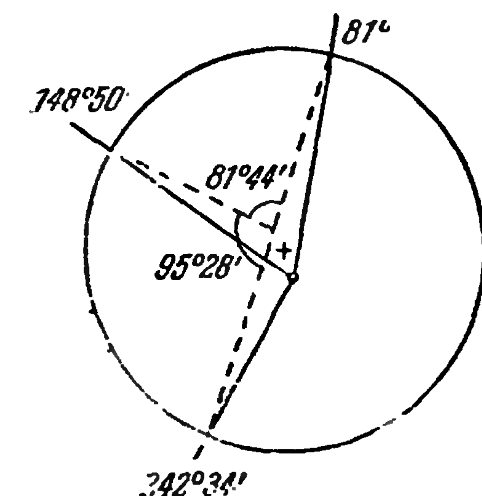


Рис. 14.

Теперь следовало решить вторую задачу о размере эпицикла относительно эксцентра. Для этого необходимо было наблюдать планету вне ее противостояния, когда она находится в далекой от противостояния части эпицикла. Любопытно, что для этого вывода Птолемей использовал наблюдение Марса всего через три дня после противостояния (рис. 15): «Так как наша дальнейшая цель — численно установить относительный размер эпицикла, для этого мы выбираем наблюдение, выполненное почти через три дня после третьего противостояния, во втором году эры Антонина, 15—16 эпифи (т. е. 30—31 мая 139 г. н. э.), за 3 часа до полуночи» [7]. Астролабоном, установленным по Спике, была найдена долгота Марса 241° 36′. Оказалось, что в тот же момент Марс находился на 1° 36′ восточнее Луны (которая по таблицам имела долготу 239° 20′, что с поправкой 40′ за параллакс дает 240° 0′); следовательно, измеренная таким способом долгота Марса также оказалась равной 241° 36′. Точное совпадение до минут дуги показывает, что долготы специально подбирались для этой цели; так как время наблюдения дано только в целых часах, а Луна движется на 33′ в час, то любое значение внутри этой области может быть подобрано таким образом, чтобы давать те же самые минуты, что и непосредственное измерение.

С этими данными снова повторялся простой геометрический расчет, состоящий из вычисления сторон треугольника с известными углами — конечно, треугольника с очень малыми углами: 2° 43′ у Земли и 1° 8′ у центра эпицикла, так что ошибки измерения, не превышающие $^1/_4$°, могли сильно исказить результат. И все же результат в 0,658 для радиуса эпицикла почти точно равен истинному значению 0,656. [Это — не случайно, а скорее закономерно, так как Птолемей должен был для бо́льших эпициклов использовать еще и другие наблюдения, со значительно бо́льшими углами. Тогда данные вывода должны были описываться только как пример, демонстрировавший следствие геометрического метода.]

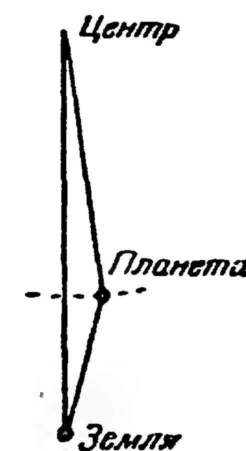


Рис. 15.

Для Юпитера и Сатурна его вывод основывался на наблюдениях в моменты, значительно удаленные от противостояния; результат ($^{23}/_{120}$ = = 0,192 и $^{13}/_{120}$ = 0,108) был вполне сравним с величинами, основанными на современных данных — 0,192 и 0,105.

К этим трем планетам теория эпициклов оказывается вполне применимой. Если бы древние астрономы имели в своем распоряжении протяженные ряды наблюдений, то они должны были бы увидеть, насколько хорошо расчет по этой теории мог их представить. Сравнение с современной теорией может убедить нас в том, что эта простая система кругов в пространстве отлично представляет детали планетных движений, которые прежде казались такими капризными и запутанными.

С Венерой и Меркурием дело обстояло не так просто. Здесь теории эпициклов пришлось отступить от простого гераклитовского понимания и в принципе положить конец неравенствам в движении эпициклов.

Теория эпициклов не говорит о том, что Солнце — центр их движений, а требует только того, чтобы период обращения центра эпицикла равнялся периоду обращения Солнца, причем его радиус должен был всегда оставаться параллельным направлению с Земли на Солнце при его движении по орбите. Поскольку наибольшие элонгации этих планет к востоку и западу от Солнца различны и переменны по величине, это следует представлять теоретически равномерно движущимися круговыми эпициклами.

Для Венеры эти различия малы; наибольшее удаление от Солнца всегда заключается между 45° 53′ и 46° 43′. Здесь круг с центром вблизи Солнца отлично подходит в качестве эпицикла. Птолемей нашел для деферента Венеры полный эксцентриситет в $^1/_{24}$, а долготу апогея в 55°. При этом он, очевидно, не заметил,

по крайней мере нигде не упомянул о том, что это — тот же самый эксцентриситет и почти тот же самый апогей, который он раньше вывел для Солнца, так что само Солнце должно было находиться в центре эпицикла Венеры. Можно удивляться тому, что наблюдения Венеры дают здесь настолько же ошибочный эксцентриситет, как и эксцентриситет Солнца (действительное значение составляет $^1/_{30}$); но следует учесть, что птолемеевские наблюдения проводились в моменты наибольших элонгаций относительно Солнца, и поэтому долготы Венеры получались посредством редукций по солнечным таблицам, основанным на ошибочном эксцентриситете в $^1/_{24}$; так что он получил в качестве «результата» то, что следовало назвать совсем иначе.

Для вывода размеров эпицикла Птолемей использовал наибольшую элонгацию в апогее и перигее деферента. Он получил 44° 48′ и 47° 20′, откуда можно было вычислить два расстояния: 0,705 и 0,735. Среднее из них — 0,720 — есть радиус эпицикла. Полуразность этих расстояний, выраженная в долях радиуса Земли, есть эксцентриситет точки наблюдения. Половина полного эксцентриситета оказалась равной $^1/_{24}$. Следовательно, деферент Венеры имеет эквант. Примечательно, что по своему характеру деферент Венеры — солнечный круг — проявляет эквант, который нельзя было вывести из него самого. Так как Птолемей не знал об их идентичности, этот факт пришлось впоследствии вновь открывать Кеплеру. Однако в использованных данных много сомнительного.

У Меркурия различия и трудности были значительно бóльшими; его наибольшие элонгации варьируют между 17° и 28°. Таким образом Птолемей не добился успеха в установлении удовлетворительной теории. В значительной степени это произошло из-за трудности наблюдения планеты; она видима только в сильные сумерки, вблизи горизонта, на большом расстоянии от других ярких звезд. Истинный день ее наибольшей элонгации трудно установить и, кроме того, планета быстрее, чем Солнце, перемещается вдоль эклиптики.

Другой источник ошибок заключается в принятой теории; круговые орбиты не были приспособлены к тому, чтобы выражать асимметричные колебания планеты. Таким образом Птолемей пришел к предположению о том, что деферент Меркурия является овалом, а Земля расположена вне его центра на большой оси. Такой овал можно было представить при помощи комбинации кругов, а именно, заставляя центр деферента описывать малый круг в противоположном вращению деферента направлении дважды в течение одного обращения. Некоторые главные особенности движения Меркурия действительно можно было представить таким образом, но менее точно и более сложно, чем для других планет. Это показывает разносторонние возможности теории эпициклов [которая могла решать такие сложные задачи].

Наконец, Птолемей включил в теорию эпициклов отклонения планет к югу или северу от эклиптики, выражаемые в широтах. Это было сделано путем введения для Марса, Юпитера и Сатурна небольших наклонов деферента к эклиптике и эпицикла к деференту. Он не имел причины, как мы, предполагать, что эпицикл должен был быть параллельным эклиптике; таким образом, он должен был определить оба наклона для каждой планеты. Птолемей использовал лишь немногие весьма грубые данные (на основании широты Юпитера, например, в 1° в апогее и 2° в перигее он нашел наклоны в $1^1/_2$° и $2^1/_2$°). К уже и без того сложной системе орбит Венеры и Меркурия он прибавил качания вверх и вниз двух эпициклов относительно деферента и одного деферента относительно эклиптики, причем все они направляются малыми вертикальными кругами. А для тех, кто думал, что эти механизмы слишком сложны для небесных тел, он добавил несколько философских утешений в таком роде: «Пусть никто, глядя на несовершенство наших человеческих изобретений, не считает предложенные здесь гипотезы слишком искусственными. Мы не должны сравнивать человеческое с божественным... Просто небесные явления нельзя рассматривать с точки зрения того, что мы называем простым или сложным, так как у нас — все произвольно и переменно, а у небесных существ — все строго и неизменно, так что их движения по орбитам нельзя представлять себе вынужденными и трудными» [8].

Халдейские таблицы не сообщали о широте планет. Они давали только их долготу в прямом и попятном движении; эклиптика как центральный круг всех планетных орбит, вероятно, осталась незамеченной. Широта встречается несколько раз только для Луны, потому что здесь она необходима для определения затмений и для точного вычисления момента появления первого серпа Луны на севере или юге. В этом пункте ясно превосходство греческой астрономии над вавилонской; она видела в небесных светилах тела, движущиеся по определенным орбитам в пространстве. Теория эпициклов в том виде, как она была дана Птолемеем, выступает как наиболее зрелый результат астрономии древности.

ГЛАВА 14

КОНЕЦ АНТИЧНОЙ АСТРОНОМИИ

В начале нашей эры все цивилизованные народы древности, жившие на побережье Средиземного моря — моря древнего мира, были объединены в Римскую империю. Оживленная морская торговля связывала их в одно экономическое целое. С противоположного берега и с завоеванного Востока в привилегированную Италию, особенно в правящую столицу — Рим стекались богатства и продукты питания. В бесконечных пограничных войнах сильным римским армиям приходилось отражать нападения народов, живших за пределами Римской империи,— варварских племен Европы, Африки и азиатских империй Востока.

На огромной территории (при императорах первых двух столетий) царил мир, нарушавшийся лишь в виде исключения, когда какие-либо полководцы спорили между собой за императорскую власть. Расцвет сельского хозяйства, ремесел и торговли, все более проникавших в провинции, привел и к распространению интеллектуальной культуры. Она зародилась на Востоке и, даже под властью Рима, оставалась греческой (т. е. эллинистической) по языку и характеру, хотя и проникла к грубым западным завоевателям. Здесь она носила подражательный характер; в области естественных наук и искусства римляне проявили мало оригинального.

Это относится также и к астрономии. Достижения римлян и содержание их открытий можно перечислить по пальцам. Клеомед (имя его греческое) уже упоминался как составитель учебника по астрономии. Он дал также правильное (при помощи рефракции лучей света вблизи горизонта) объяснение видимости над горизонтом Солнца и расположенной напротив него затмившейся Луны. Птолемей использовал наблюдения покрытий звезд Луной, выполненные в Риме Менелаем (в 92 г. н. э.) и в Вифинии Агриппой (в 98 г. н. э.); первое имя — Менелай — также греческого происхождения. У Плутарха, автора известных «Жизнеописаний»[1] (II в. н. э.), есть диалог «О лице, видимом на диске Луны»[2], в котором Луна описывалась как тело, подобное Земле (хотя и меньше ее по величине), с горами, отбрасывающими глубокие тени. Следовательно, это были вполне современные пред-

ставления, уже превосходившие взгляды Аристотеля. [Следует упомянуть также календарную реформу Юлия Цезаря, составившую основу всей последующей хронологии. В результате этой реформы связь с Луной была совершенно устранена, а (в подражание египетскому календарю) использовался солнечный год в $365^1/_4$ дня, как единственный заимствованный из астрономии период][3]. Социально-политическая организация римлян, являвшаяся их особой силой, позволила им создать такую систему счета времени, которая в дальнейшем стала господствовать во всем цивилизованном мире.

Однако природа Римской мировой империи придала научной работе того времени новый, особый характер. В прежние века возникновение ремесел и торговли, а также соперничество небольших городов-государств в Элладе и на Востоке, пробуждало инициативу в формировании новых идей. Теперь, когда цивилизованное человечество стало единым целым, характер научной работы также изменился в направлении всеохватывающего объединения. При изучении природы мысли стали направляться на объединение всех знаний в единую науку. На смену свежей силе оригинальных мыслителей и изобретателей, кипению новых идей пришла всесторонняя ученость компиляторов, которые переработали в энциклопедические книги (конечно, в своем истолковании) все то, что было открыто и создано их предшественниками. В научном отношении эпоха Римской империи была периодом создания больших энциклопедических сборников по всем областям знания: по географии — Страбоном, по естественной истории — Плинием, по медицине — Галеном. Они представляли собой завершение античной науки.

То же самое произошло и с астрономией. В качестве завершения греческой астрономии появилось «Тринадцать книг математического сочинения» («Mathematiké syntaxis») Клавдия Птолемея. Он жил в эпоху императоров Адриана и Антонина Пия и был современником Плутарха. Годы его рождения и смерти неизвестны, однако известно, что его наблюдения выполнены в 127—151 гг. н. э. Он жил в Александрии и принадлежал целиком к миру греческой культуры. Его работа представляла собой нечто значительно большее, чем просто собрание, компиляцию прежних знаний. Птолемей был не компилятором, а самостоятельным исследователем в науке; вместе с Гиппархом он является величайшим астрономом древности. Он улучшил и расширил теории своих предшественников и добавил к ним свои собственные наблюдения и объяснения. Мы уже видели, как он довел до совершенства теорию эпициклов, придав ей точную форму и численные значения.

Работа Птолемея является руководством по всей астрономии того времени в целом. Верно, что он имел дело только с небесной

сферой — звездами, Солнцем, Луной и планетами, и ничего не говорил о кометах. Он считал, что кометы не относятся к астрономии, хотя философ Сенека (ок. 70 г. н. э.) в часто цитируемом выражении говорил о них, как о небесных телах, однако их сильно вытянутые орбиты, на которых они оставались большей частью невидимыми, были открыты позднее. Аристотель рассматривал кометы как явления, происходящие в верхних слоях атмосферы, и Птолемей в своих общих принципах присоединился к строению мира по Аристотелю. Таким образом, он начал с сообщения о том, что небесный свод — сфера, и как сфера он вращается вокруг своей оси; Земля также шарообразна и находится в центре небесной сферы; по своему размеру Земля является точкой относительно этой сферы и, не обладая движением, не может изменить свое положение. Последнее утверждение доказывалось обычными цитатами из сочинений Аристотеля. Кроме того, здесь он полемизировал, не называя имени Аристарха, с теми, «кто считает небесную сферу покоящейся, тогда как Землю заставляет вращаться вокруг своей оси с запада на восток, совершая одно обращение в сутки». То, «что явления относятся к миру звезд»,— продолжает он,— «не противоречит этому по той простой причине, что это так и должно быть»[4]. Однако нелепость такого представления проявляется в том, что тончайшая и легчайшая материя неподвижна, а самая тяжелая и косная масса материи, в противоположность этому, должна была невероятно быстро двигаться. Все то, что не было жестко связано с ней (т. е. облака или брошенные вверх предметы), должно было отставать, следовательно, казаться движущимся в противоположном направлении, на запад. Или же, как тогда говорили, воздух увлекался вместе с вращающейся Землей; тогда они должны были как бы вползать всегда на то же самое место, где должны были оставаться.

Таковы аргументы, которые Птолемей выдвигал в пользу своей геоцентрической системы мира.

В геометрическом введении впервые вычислена и представлена таблица хорд для углов через каждые полградуса; использована теорема о свойстве четырехугольника, вписанного в круг, которая до сих пор фигурирует в современных учебниках как «теорема Птолемея». Так как греческая система чисел не знала десятичных дробей, то хорды выражались в шестидесятеричной системе, причем диаметр принимался равным 12 единицам, что говорит о вавилонском влиянии (так, для дуги в 90° хорда дается как 84, 51, 10, т. е., переходя на наши обозначения,— 0,707107). На протяжении всей работы длины линий даются в 60-х долях. Затем выводились теоремы о плоских и сферических треугольниках, которые понадобятся в дальнейшем. В связи с ними были вычислены величины, характеризующие вращение небесной сферы, а именно: момент и продолжительность восхода различных зодиакальных знаков, так же как углы эклиптики с горизонтом, положение меридиана и других вертикальных кругов — все данные, необходимые для астрологических вычислений. Эти величины зависят от высоты полюса в месте наблюдения. Поэтому прежде всего особо обсуждались явления, происходившие на различных широтах Земли, от экватора до полюса. При этом давались стандартные широты, которые возрастали с ростом продолжительности дня от $12^1/_4$; $12^1/_2$; $12^3/_4$; 13; ... часов (соответствовавших широтам от 4°15′; 8°25′; 12°30′; 16°27;...) до 23 и 24 часов (для широт 66° и 66° 8′ 40″). Для стандартных широт, охватывавших населенные пункты, вычисленные в таблицах величины давались через каждые полчаса.

Затем шла речь о движении Солнца. Наклон эклиптики, длина года и эксцентриситет круговой орбиты определялись соответствующими величинами. Птолемей описал два инструмента для измерения наклона; один — градуированный круг на подставке, внутри которого мог вращаться малый круг с указателем так, что при помощи тени и указателя можно было снимать отсчеты полуденной высоты Солнца (рисунок этого инструмента позднее был дан Проклом). Другой инструмент представлял собой градуированный квадрант, служивший для той же цели. Птолемей нашел, что разность между полуденными высотами Солнца во время летнего и зимнего солнцестояний всегда заключена между 47° 40′ и 47° 45′, и заметил, что примерно такую же величину нашел Эратосфен и использовал Гиппарх — $^{11}/_{83}$ окружности. Половина ее, равная $23°51^1/_3$′, есть величина наклона эклиптики.

Что касается орбиты Солнца, то Птолемей первый напоминал, что еще Гиппарх установил интервалы времени между весенним равноденствием, летним солнцестоянием и осенним равноденствием, равные $94^1/_2$ и $92^1/_2$ дня, и вывел из них эксцентриситет в $^1/_{24}$. «Мы также пришли к результату, что эти величины близки к тем же значениям и сегодня... Мы нашли те же самые интервалы из точно наблюдавшихся равноденствий и, равным образом, точно вычисленного летнего солнцестояния в 463 г. после смерти Александра» (т. е. в 139—140 гг. н. э.[5]). Эти наблюдения таковы: 26 сентября 139 г. н. э., через 1 час после восхода Солнца; 22 марта 140 г., через час после полудня, т. е. на $178^1/_4$ дня позднее, и 25 июня 140 г., около двух часов утра. «Последний интервал составляет $94^1/_2$ дня, следовательно, интервал от этого солнцестояния до следующего осеннего равноденствия получается равным $92^1/_2$ дня». Таким образом, он вывел эксцентриситет в $^1/_{24}$ и апогей в 65°30′, причем оба значения идентичны с гиппарховыми. В действительности эти интервалы составляли (по современным данным) 93,9 и 92,6 дня, [а эксцентриситет равнялся $^1/_{30}$].

Те же самые равноденствия были использованы для определения длины года путем сравнения их с гиппарховыми значениями для 147 и 146 гг. до н. э., т. е. выполненными на 285 лет ранее. Птолемей нашел, что этот интервал на 70,3 дня больше, чем 285 × 365 дней; так как $285 \times 1/4$ дня $= 71^1/_4$ дня, следовательно, «за 300 лет возвращение Солнца к точке весеннего равноденствия происходит примерно на день раньше, чем должно быть, если год был равен $365^1/_4$ дня» [6]. И снова он установил, что полученная им длина года полностью соответствует гиппарховой: 365 дней 5 часов 55,2 минуты. Однако эта длина была больше истинной на 7 минут; следовательно, его интервал, несомненно, был на 1 день длиннее истинного. И действительно, оказалось, что отмеченные им моменты равноденствий (если их перевычислить на основании современных данных) наступили на 1 день раньше, чем он сообщил на основании своих наблюдений. Длина года, или, более точно, величина тропического года, короче промежутка времени между возвращениями Солнца к тем же самым звездам (звездного года), причем обе эти величины зависят от прецессии. При этом Птолемей снова целиком согласился с Гиппархом. «Сравнивая расстояние звезд от точек солнцестояний и равноденствий с теми величинами, которые наблюдал и отметил Гиппарх, мы также нашли, что произошло соответствующее перемещение в направлении знаков» [7]. Сравнив выполненное им самим наблюдение Регула 139 г. н. э. с наблюдением Гиппарха, Птолемей нашел, что Регул продвинулся вперед на 2° 40′ за 265 лет, следовательно, на 1° в 100 лет. Затем он сравнил ряд наблюдений покрытий или соединений различных звезд (Плеяд, Спики, β Скорпиона) с Луной, выполненных Тимохарисом (в Александрии), с аналогичными наблюдениями Менелая (в Риме) и Агриппы (в Вифинии), [на 380—390 лет позднее], и снова вывел возрастание долготы на 1° в 100 лет. Однако, как мы теперь знаем, данная величина сильно занижена, и ее истинное значение составляет 1° в 72 года; следовательно, действительное смещение у Гиппарха было примерно на 1°, а у Тимохариса — на $1^1/_2$° больше.

Из-за этих противоречий современные астрономы часто резко критиковали Птолемея, заявляя, что он не только слепо полагался на своего великого предшественника и без должной критики принял его значения, но для этой цели даже подделал или подогнал и на скорую руку подобрал результаты своих собственных наблюдений, т. е. фальсифицировал их для того, чтобы согласовать с гиппарховыми.

В обширном труде Деламбра «История древней астрономии» (1817) мы читаем: «Наблюдал ли сам Птолемей? Не называет ли он «наблюдениями» результаты вычислений, выполненных им по своим таблицам, и примеры, приводившиеся для лучшего пони-

мания теории?». И дальше Деламбр добавляет: «Что касается основного вопроса, мы не знаем, как его решить. Кажется затруднительным полное отрицание того, что Птолемей сам проводил наблюдения... Если же, как он говорит, он действительно имел в своем распоряжении массу наблюдений, то мы можем упрекнуть его в том, что он не приводит их и нигде не говорит о том, какой могла быть вероятная ошибка его солнечных, лунных и планетных таблиц. Астроном, который сегодня действовал бы подобным образом, вызвал бы к себе полное недоверие. Но Птолемей был один. У него не было ни судей, ни соперников. Долгое время он восхищался своими собственными словами» [8].

Ясно, однако, что неверно судить о работе Птолемея с точки зрения современной науки. Склад ума античных ученых совершенно отличен от нашего. В то время еще не существовало систематического экспериментального исследования с общепризнанными стандартами истинности. Результаты наблюдений не считались документом. Работа Птолемея была в основном теоретической. Ее цель сводилась к выработке основ геометрической картины мира. Наблюдение и теория в том виде, как мы встречали их у Аристарха, были в то время совершенно не связаны друг с другом. Наблюдения считались просто экспериментальным дополнением, обнаруживающим, где должно было находиться небесное тело. Теория считалась новым, удивительным мировоззрением. Она позволяла глубже проникнуть в строение мира. Это было философское исследование сущности вещей. Использовавшиеся при этом данные были главным образом примерами или образцами. Они не были необходимыми, взятыми из наблюдений данными, со всеми их неточностями. Наблюдения рассматривались не как важное новое знание, а часто лишь как подтверждение или просто принятое, или заимствованное у предшественников.

Более того, в случае прецессии нельзя было не заметить источников действительной ошибки. В птолемеевском наблюдении Регула положение Солнца в момент его захода сначала определялось относительно Луны, а положение низко стоящей Луны позднее определялось относительно звезд (эффект рефракции должен был быть таким, что долготы звезд относительно Солнца оказывались слишком малыми). Если долгота Солнца бралась из таблиц, то их ошибки из-за ошибок в определении точек равноденствий переносились и в результат. При выводе долготы звезд из покрытий их Луной должны были применяться таблицы параллаксов Луны, которые содержали значительное число ошибок. Когда время отмечается грубо приблизительно, то можно, зная, что скорость движения Луны составляет 0°,5 за 1 час, соответствующим образом подогнать результат к предполагаемому значению. Все это позволяет нам мысленно представить себе метод

работы этих древних астрономов и понять, насколько они в разных отношениях отличаются от современных естествоиспытателей, и поэтому к их оценке нельзя подходить с нашей меркой. Стоит упомянуть и следующее. Птолемей привел несколько списков с результатами для склонений (так называемых широт относительно экватора) многих звезд по измерениям Тимохариса, Аристилла, Гиппарха и по своим собственным для того, чтобы показать, что они с одной стороны неба отклоняются к северу, а с другой — к югу, т. е. что все звезды смещаются параллельно эклиптике. Если на основании величины смещения по склонению вычислить теперь прецессию по долготе вдоль эклиптики, мы получим 46″ в год или 1° в 78 лет, т. е. значение, не сильно отличающееся от истинного. Измерения, не искаженные ошибками и усложнениями, вносимыми солнечными и лунными таблицами, оказываются хорошими и надежными, со средней ошибкой не более 8′. Однако у Птолемея не было тригонометрических формул, чтобы провести такое вычисление.

Относительно Луны Птолемей все же не ограничился подтверждением гиппарховых результатов; он шел здесь своим новым путем. Сначала он проверил и исправил периоды ее собственного движения. Птолемей установил также, что среднее суточное движение по долготе (выраженное в шестидесятых долях, отделяемых, как правило, запятыми): 13°, 10, 34, 58, 33, 30, 30 и движение относительно Солнца — 12°, 11, 26, 41, 20, 17, 59, соответствующее синодическому периоду в $29^d12^h44^m3^1/_2{}^s$ и тропическому году в $365^d5^h55^m$, не нуждались в исправлении. Для того чтобы найти периоды возвращения к апогею («аномалистический период»), он воспользовался тремя вавилонскими лунными затмениями 721 и 720 гг. до н. э. и сравнил найденную отсюда долготу апогея с тремя затмениями, которые наблюдал он сам в 133, 134 и 136 гг. н. э.

Для того чтобы найти период возвращения к тому же самому узлу, Птолемей сравнил затмение 491 г. до н. э. с затмением 125 г. н. э., выбранным таким образом, чтобы все другие определяющие величины были одинаковыми в обоих случаях. Так он нашел поправку в 0° 17′ за 854 года для гиппарховского периода возвращения к апогею, которое было основано на отношении 269 : 251, тогда как поправка к движению узла оказалась равной 0°9′ за 615 лет. Движение в градусах за сутки относительно апогея оказалось равным 13°, 3, 53, 56, 17, 51, 59, а относительно узла — 13°, 13, 45, 39, 48, 56, 37. Они соответствуют попятному движению узла по долготе за период в 6796,26 суток и прямому движению апогея с периодом в 3231,62 суток.

В качестве основного предположения Птолемей принял, что орбита Луны является кругом, наклоненным к эклиптике, причем точки пересечения с ней (узлы) равномерно отступают назад с периодом в 6796 суток, т. е. 18 с лишним лет. Для того чтобы представить изменения скорости Луны между апогеем и перигеем, для Солнца здесь используется не эксцентрический круг (по соображениям, которые будут приведены ниже), а эпицикл. [Мы уже видели (см. рис. 12 на стр. 151), что вместо эксцентрического круга можно также хорошо использовать концентрический круг с эпициклом, совершающим обращение за тот же самый период]. Для того чтобы получить вместо неподвижного апогея смещающийся, требуется замедлить движение по эпициклу лишь немного, всего на 6′41″ в сутки. Величина эксцентриситета, соответствующая в данном случае радиусу эпицикла, по этим затмениям равна $\frac{1}{11{,}49} = 0{,}087$, что совпадает с максимальным отклонением от равномерного движения на 5° 1′.

Все эти результаты основаны на лунных затмениях; время середины затмения определяло положение Луны значительно точнее, чем могли его дать любые непосредственные измерения с инструментами. Однако Птолемей не довольствовался ими; он хотел знать положение Луны в других частях ее орбиты. Так, он построил инструмент, который назвал *астролабон* *); этот инструмент не имеет ничего общего с тем, который позднее назывался

*) Этот инструмент (рис. 16) настолько важен для астрономии, что стоит вкратце привести его описание, данное Птолемеем. Два жестко связанных и взаимно перпендикулярных кольца представляли собой эклиптику и перпендикулярный к ней большой круг (так называемый колюр) солнцестояний (летнего и зимнего) с полюсами эклиптики и экватора. Внутреннее кольцо могло вращаться вокруг двух штифтов в обоих полюсах эклиптики, причем его положение отсчитывалось как «долгота» на разделенном на градусы эклиптикальном кольце. По его внутренней стороне скользило также градуированное кольцо с двумя визирами, по которому отсчитывалась «широта» небесного тела, на которое производилось визирование. Для того чтобы приводить систему эклиптикальных колец в соответствие с воображаемыми линиями на небе, использовались два штифта, привинчивавшиеся снаружи вместо двух небесных полюсов на колюрном кольце (вращавшемся внутри неподвижного кольца), которое представляло меридиан места.

Таким образом, сначала ставили подставку, на которой устанавливались эти кольца так, чтобы меридианное кольцо было направлено с севера на юг, а точки, изображающие полюсы вращения, находились на высоте полюса данного места. Затем кольцо долгот устанавливалось по известной или вычисленной долготе Солнца (или звезды). Потом колюрное кольцо поворачивалось вокруг небесной оси до тех пор, пока кольцо долгот не оказывалось направленным точно на Солнце (или на звезду). Тогда эклиптика и ее неподвижные точки оказывались расположенными точно так же, как на небе. Теперь можно было кольцо долгот и скользящее по нему кольцо широт с визирами направлять на Луну (или на другое светило) и отсчитывать долготу и широту [9].

«астролябией», а идентичен более поздней *армиллярной сфере* или, кратко,— *армилле*. Он дает подробное описание инструмента, который вследствие его важности для астрономии воспроизведен на рис. 16. При помощи этого инструмента измерялись долгота и широта звезд. Птолемей использовал его также и для повторного измерения днем разности долгот между Солнцем и Луной. Оказалось, что теория совершенно не согласовалась с этими измерениями. В квадратурах (первой и последней четверти) наибольшее отклонение от равномерного движения составило 7°40′ вместо 5°1′. Именно в целях представления и объяснения этой «второй аномалии» Луны (в настоящее время называемой «эвекцией»), которая зависит от положения относительно Солнца, был введен эпицикл для первой аномалии. Механизм, предложенный Птолемеем, делал ее расстояние от Земли попеременно то бóльшим, то меньшим,— в квадратурах в полтора раза больше, чем в полнолунии и новолунии. Центр Луны при этом перемещался не по кругу, а по овальной орбите, в вершинах овала немного приближаясь и удаляясь в направлении Солнца, а на плоских сторонах — перпендикулярно к нему. Не вступил ли он здесь в противоречие с основным принципом греческой космологии о том, что все орбиты должны быть равномерно движущимися кругами или их комбинацией? [Формально он мог придать поступательное движение по деференту центру эпицикла, который не покоился, а описывал небольшой круг в противоположную сторону, как показано на рис. 17. Для того чтобы большая ось овала всегда сохраняла направление на Солнце, ее внутренний центр должен был продвигаться вперед на 12°11′26″ в сутки, тогда как сама Луна — отступать на 13°10′35″ в сутки. Эксцентриситет, т. е. радиус малого внутреннего круга, составлял 0,208; расстояние и видимая величина эпицикла изменялись таким образом в отношении 1,21 : 0,79, что совпадало с отношением 7°40′ : 5°1′. В той же самой пропорции изменялся и радиус эпицикла (0,087 часть большой оси), т. е. 0,106 части радиуса деферента.]

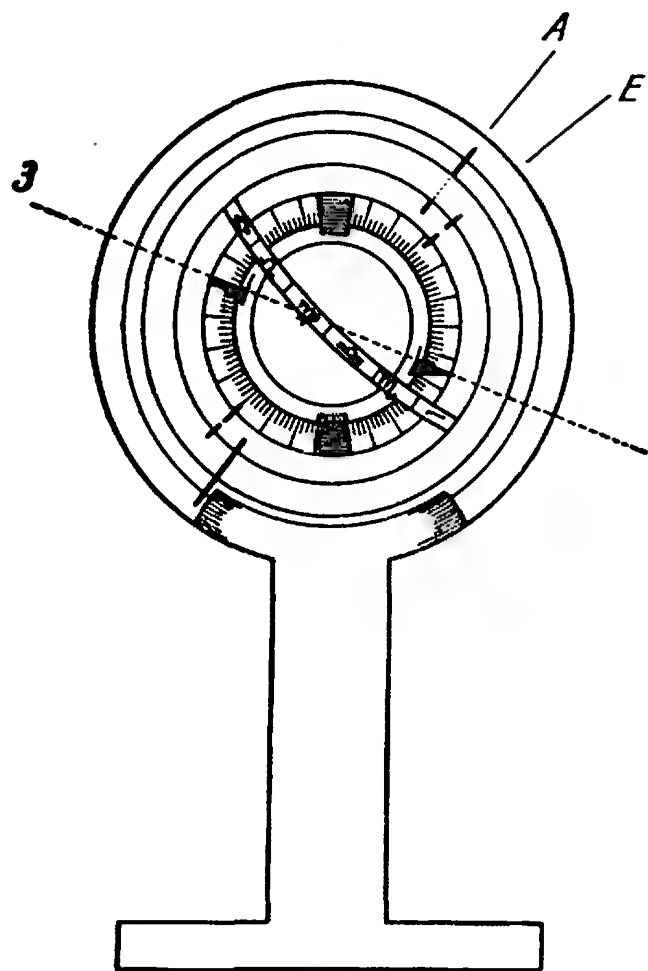


Рис. 16.

Таким остроумным способом давалось объяснение, которое формально выполняло принципиальное требование — орбиты состояли из кругов, но при условии, что расстояние самой Луны от Земли могло изменяться в пределах: от 1,21 + + 0,11 до 0,79—0,11, т. е. в отношении 33 : 17.

Теперь каждый, рассматривая Луну даже невооруженным глазом, без всякого измерения, может установить, что это неверно. Диаметр Луны никогда не бывает вдвое больше, чем в полнолунии.

Таким образом, теория определенно не могла представить действительного движения в пространстве. Правда, теперь говорят, что это не имеет значения, если только видимые, наблюдаемые движения хорошо воспроизведены; пространственная структура имеет лишь формальное значение для представления видимого движения. Это, однако, неверно в случае Луны, так как параллаксы, которые влияют на ее видимое положение, должны быть также переменными в том же самом неприемлемом отношении.

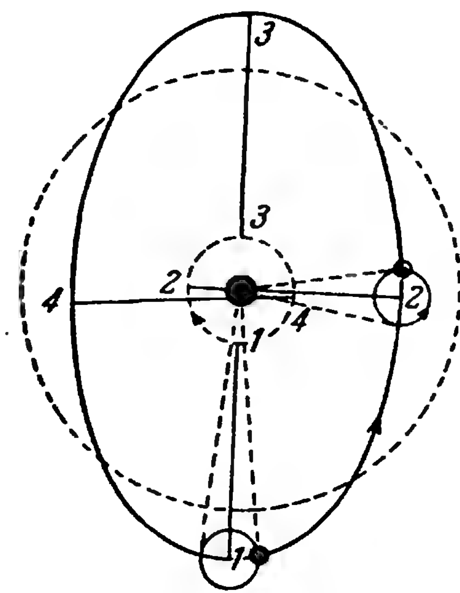


Рис. 17.

Затем Птолемей описывал инструмент для измерения параллакса Луны (рис. 18). Это — инструмент для измерения в меридиане расстояния объекта от зенита: наклонная рейка, шарнирно прикрепленная верхним концом к вертикальному шесту так, чтобы она могла двигаться в вертикальной плоскости, направлялась на Луну при помощи двух визиров. Ее наклон отсчитывался не по круговой дуге, а по градуированной планке, на которую опирался ее нижний конец, шарнирно прикрепленный к нижней точке шеста и, таким образом, представлявший хорду дуги между Луной и зенитом.

[Позднее этот инструмент использовался в Западной Европе под названием тройного жезла («трикветрума»).] Птолемей применил его для измерения высоты Луны в точке ее наибольшей широты, т. е. определял наклон лунной орбиты к эклиптике в 5°0′. Для определения параллакса Луны он измерил ее зенитное

расстояние в наивысшей точке, когда параллакс пренебрежимо мал, а затем в самой низкой точке, когда параллакс весьма значителен. При этом лунная орбита оказывалась симметричной относительно эклиптики и экватора, и параллакс можно было вывести. «Из ряда наблюдений параллаксов, сделанных нами в таких положениях, мы сообщим один для того, чтобы показать ход вычисления и вывести следующее заключение» [10]. Это — наблюдение, выполненное 1 октября 135 г. н. э., которое дало параллакс в 1°7′ (при зенитном расстоянии 49°48′), т. е. расстояние в $39^{3}/_{4}$ радиуса Земли. В этом случае выступы орбитального овала находились на расстоянии в 59 радиусов, а его плоские стороны — на расстоянии $38^{43}/_{60}$; эти величины — основные, на которых были построены таблицы параллаксов Птолемея. Современный читатель спросит с удивлением, могли ли соответствовать этим значениям параллакса другие, не приведенные здесь его наблюдения, и почему он выбрал именно одно это? Но древний философ скорее пришел бы в восторг, увидев, как такие возвышенные и запутанные вещи, как расстояние и движение Луны, можно исследовать при помощи столь простого и точного вычисления. Предельные значения параллакса, встречавшиеся в его таблицах, таковы: 53′34″ и 63′51″ в вершинах овала (полнолуние и новолуние) и 79′ и 104′ на плоских сторонах (т. е. в квадратурах). Порядок этих чисел, конечно, значительно превосходит реальные пределы лунного параллакса. В этом теоретическом представлении Птолемей оказался жертвой своего основного принципа — желания выразить все неравенства лунного движения при помощи равномерно движущихся кругов.

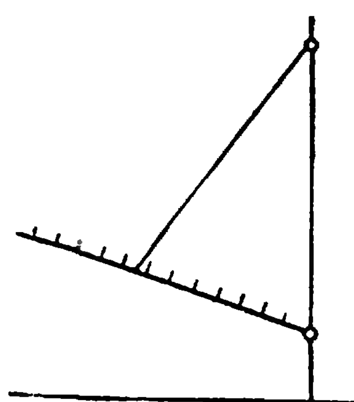


Рис. 18.

Задача, которую еще предстояло решить, заключалась в выводе размеров небесных тел и расстояний их от Солнца. Пользуясь диоптром — инструментом, похожим на гиппарховский, он нашел, что диаметр Солнца кажется постоянным и равным диаметру полной Луны при ее наибольшем удалении от Земли [64 земных радиуса]. Это означало, что кольцевые солнечные затмения не могут происходить. Птолемей думал, что этот метод не вполне точен для определения диаметров; поэтому теперь он перешел к их теоретическому выводу при помощи известных элементов орбит. Были взяты два лунных затмения, наблюдавшиеся в Вавилоне и выбранные так, что Луна была на наибольшем расстоянии от Земли. Одним было затмение 22 апреля 621 г. до н. э.; затмевалась $^{1}/_{4}$ лунного диаметра; вычисление показало, что Луна находилась от узла на расстоянии 9°20′, так что ее центр отстоял к северу от эклиптики на 48′30″. Во время другого затмения 16 июля 523 г. до н. э. затмилась половина лунного диаметра, и при расстоянии от узла в 7°48′ широта ее центра была 40′40″. В таком случае это — радиус тени, и отличие от предшествующего значения в 7′50″ представляло собой полурадиус лунного диска. «Следовательно, полудиаметр тени лишь немного (на 4″) меньше, чем $2^{3}/_{5}$ части полудиаметра Луны, т. е. 15′40″. Так как из ряда подобных наблюдений мы получили почти совпадающие численные результаты, мы использовали их как в наших теоретических исследованиях о затмениях, так и при выводе расстояния до Солнца» [11]. Вычисление расстояния до Солнца, которое Птолемей провел при помощи сложных действий с радиусами и расстояниями, привело его почти к тому же значению, что и у Гиппарха, но теперь оно использовалось иначе: полная сумма радиусов тени и Солнца 40′40″ + 15′40″, уменьшенная на величину лунного параллакса на наибольшем расстоянии в полнолуние 53′34″, давала для солнечного параллакса в остатке 2′46″; таким образом, расстояние до Солнца составляло 1210 радиусов Земли [12]. Это определение расстояния совершенно иллюзорно, что видно прямо на глаз.

Грубые утверждения о том, что затмевалась $^{1}/_{4}$ или $^{1}/_{2}$ лунного диаметра (неизбежно грубые потому, что край тени плохо различим), могут быть ошибочными на несколько минут, и тогда солнечный параллакс может полностью исчезнуть. Однако для Птолемея это должно было выглядеть совершенно иначе. Характер вывода и его цель — это теоретическое объяснение геометрической связи явлений и величин. В таком случае можно сказать, что этот вывод дает представление о высотах, достигнутых греческой астрономией. То, что астроном теоретически мог вывести расстояние до Солнца из наблюдения лунных затмений, показывает, как далеко продвинулся человек в глубоком изучении устройства мира. [Отсюда получалось, что диаметр Солнца должен быть в $5^{1}/_{2}$ раза больше диаметра Земли, а Луны — в $3^{3}/_{5}$ раза меньше. Следовательно, объемы их соответственно в 170 раз больше земного и в 39 раз меньше. Ряд следующих глав был посвящен тщательному изложению вычисления солнечных и лунных затмений на основе результатов, найденных по движению Солнца и Луны.]

После Солнца и Луны Птолемей обратился к звездам. Его работа содержала первый опубликованный каталог неподвижных звезд, состоявший из 1022 звезд, для которых даны координаты относительно эклиптики (долгота и широта), а также звездная величина. Звезды объединялись в созвездия (часть звезд, названных «бесформенными», осталась вне созвездий). Положение звезд

в созвездиях описывалось частью тела мифического существа, название которого носило созвездие.

Блеск звезд выражается первой, второй, третьей и т. д. до шестой величины, а у некоторых звезд (для большей точности) прибавлены слова «больше» или «меньше». Этот метод в дальнейшем постоянно использовался в астрономии. Долготы были обычно на 1° меньше; это часто объяснялось тем, что Птолемей, позаимствовав свой каталог из гиппарховского, исправил долготы за прецессию, введя поправку на 1° меньше, т. е. 2° 40′ вместо 3° 40′. Однако, как уже упоминалось выше, весьма возможно, что его значение прецессии все же основывалось на собственных измерениях. Высказывались предположения, что он заимствовал список около 800 звезд, наблюдавшихся Гиппархом (без новых наблюдений), и добавил 170 более слабых звезд. Это предположение основывалось на том, что широты были даны главным образом в шестых долях градуса, но для некоторых звезд — в четвертях градуса; эти шестые и четверти должны были, следовательно, соответствовать градуировке разных инструментов. До сих пор этот вопрос невозможно решить. Случайные ошибки, конечно, больше этих единиц круга отсчета; сравнение с современными данными показало, что долготы имеют среднюю ошибку в 35′, а широты — в 22′.

Для шести звезд Птолемей прибавил замечание об их цвете; он называл их *гипокиррос*, т. е. желтоватыми. Это Альдебаран, Бетельгейзе, Арктур, Антарес, Поллукс и Сириус; первые пять — звезды первой величины, которые теперь называются «красными» или «красноватыми». В этом «красном» преувеличена реальная окраска точно в такой мере, как у Марса, который может казаться нам огненно-красным, хотя в телескоп он выглядит желтоватым. Таким образом, птолемеевское выражение «желтоватый», собственно, вполне точно.

То, что Птолемей называл «красной» звездой Сириус, который, как мы знаем, является голубовато-белым, всегда вызывало удивление в последующие столетия, и современные авторы часто делают из этого вывод, что Сириус должен был за это время изменить свой цвет. В том, что это не было простым копированием ошибки, можно убедиться на примере римской литературы, где красная Песья звезда часто называлась *рубра каникула*, т. е. огненная, горящая звезда, приносившая летнюю жару. В клинописном тексте упоминалась звезда Как-си-ди, которая восходит поздними осенними вечерами и «светит как медь» [13]. Однако такое резкое изменение цвета звезды от красного к голубому совершенно исключается современной астрофизикой. Более того, в астрономической поэме Манилия мы находим следующую строку о Сириусе: «Хотя она и стоит далеко, но отбрасывает холодные лучи от своего лазурно-голубого лица» [14]. Наиболее вероятное объяснение заключалось в том, что это название («красной звезды») дали Сириусу египтяне, так как он действительно имел такой вид, когда только появлялся у горизонта точно в момент гелиакического восхода, приобретая красноватую окраску из-за того, что его лучи проходили большую толщу атмосферы. У римских авторов цвет повсюду имел не физическое, а астрологическое значение, [которое использовалось в качестве определяющего обозначения звезды].

После звездного каталога Птолемей дал детальное описание Млечного Пути, которое на протяжении всех последующих столетий, вплоть до XIX в., не повторялось и не исправлялось; и лишь во второй половине этого столетия его превзошли более точные исследования. Затем целая глава была посвящена устройству небесного глобуса для изображения каталогизированных звезд. «Так как мы выбираем фон более темного оттенка, он соответствует не дневному, а более темному ночному небу» [15]. Птолемей подробно описывал, как на этот глобус при помощи градуированных колец наносились звезды в виде точек, соответствующих им по долготе и широте. «Наконец, желтым и иначе окрашенным звездам мы придаем их особый цвет в такой мере, которая соответствует величинам звезд». Фигуры созвездий указывались лишь едва заметными линиями неброских цветов; наносился также Млечный Путь с его яркими частями и темными «провалами». Таким образом, птолемеевский небесный глобус должен был превосходить все позднейшие по точности представления неба. Птолемей пользовался им для того, чтобы изучать и рассчитывать для любого места наблюдения явления и положения звезд относительно кругов и особенно относительно горизонта, т. е. их восходы и заходы.

Остальная и наиболее важная часть птолемеевской работы (последние 5 книг) была посвящена планетам, т. е. изложению теории эпициклов их орбит, как объяснялось выше. Для всех движений давались таблицы, позволяющие быстро вычислить долготу планет для любого их положения на деференте и эпицикле; в последней книге приводились также таблицы для вывода широт планет по наклонам орбит.

Наконец, были рассмотрены задачи о вычислении особых явлений, заимствованных из Вавилона, с которых, собственно, и началась планетная теория,— стояний, наибольших элонгаций, гелиакических восходов и заходов. Разработанная и представляющая все неравенства теория могла теперь разобраться также и во всех деталях этих явлений. Здесь греческая теория значительно превзошла халдейские ряды чисел. Были даны таблицы стояний в различных точках орбиты для наибольших элонгаций (утренних

и вечерних) Венеры и Меркурия для начальной точки каждого зодиакального знака, и, кроме того, элонгации всех пяти планет при гелиакических восходах и заходах, также особо для начальной точки каждого из двенадцати знаков зодиака.

Таким образом, в этом замечательном руководстве древней астрономии — «Математическом сочинении» («Mathematiké Syntaxis») — мир небесных тел встает перед нами как геометрическая картина вселенной. Это — картина вечного непрерывного движения по круговым орбитам, подчиняющегося определенным законам, картина, полная простой гармонии,— «космос», т. е. украшение. Она излагалась путем непосредственного вывода точных доказательств, без включения досадных неравенств. Данные были так выбраны или подогнаны к допустимым пределам, что представляли собой точную копию доказательств. Случайных отклонений, нуждавшихся в объяснении, которое могло бы отвлечь внимание читателя и оставить некоторое чувство сомнения в нерушимости гармонии данного построения, не было. Более того, книга как труд составителя должна была соответствовать требованию совершенства формы и мастерства отделки. Умственный труд в те времена был не так уж далек от искусства. Подобно тому, как из изделий ремесленников тщательно устранялась любая грубая неправильность, которая могла бы помешать наслаждению чистой гармонией форм и линий, так и произведение умственного труда должно было пленять глаз и ум чистым представлением вселенной в математическом виде.

Геометрия занимала высокое положение в культуре античного мира как единственная абстрактная и точная наука. Благодаря строго логическому построению, переходящему от одних аксиом и теорем к другим, она представлялась [16] чудесным созданием человеческого ума, монументом абстрактных истин, стоящим за пределами материального мира, несмотря на доступность умственному созерцанию. Хотя она и приносила небольшую практическую пользу (что и вызвало ее появление, например, у египетских землемеров), но по сравнению с великим теоретическим построением Эвклида это едва ли имело значение [17]. Правда, *сферика*, т. е. учение о сфере и кругах на ней, была необходима для представления явлений на вращающейся небесной сфере для определения моментов восходов и заходов звезд и занимала важное место в практической математике и в то время, и позднее. Но сферика составляла лишь особый раздел геометрии. В целом же наука о треугольниках и кругах, вместе с отношениями и свойствами их линий и углов, была чисто теоретической и ею занимались ради нее самой, ради ее внутренней красоты.

Однако теперь пришло время для науки о планетных движениях, и работа Птолемея явилась практическим воплощением этой теории. Те истины, которые в других отношениях представлялись существующими только в воображении, здесь в строении вселенной, обрели реальность. Здесь все это получило форму, величину и размеры. В мире планет круги двигались, расстояния растягивались и сокращались, углы расширялись и постепенно уменьшались, а треугольники изменяли свою форму при величавом и бесконечном поступательном движении. Если мы назовем астрономию древнейшей, а в древности — действительно единственной наукой, следует добавить, что в Греции она была материализованной геометрией. Она представляла собой единственную область, где геометрия могла материализоваться. Вне этого астрономического мира для изучающих геометрию практика ограничивалась идеальным оперированием воображаемыми фигурами. В астрономии греки нашли единственную, но обширнейшую область, в которой их фигуры были реальными, имели определенную форму и размеры, жили своей собственной жизнью, имели значение и содержание — орбиты «божественных» светил. Таким образом «Математическое сочинение» было карнавальным шествием геометрии, праздником глубочайшего создания человеческого ума в представлении вселенной. Удивительно ли, что Птолемей в состоящем из четырех строк эпиграфе к своему труду говорит, что, изучая орбиты звезд, он чувствовал себя восседающим за столом у Зевса и вкушающим небесную амброзию [18]?

Встав из-за стола, он сначала вошел в зал совета богов, чтобы послушать, как они доводят свои решения до сведения смертных. Небезынтересно то рвение к познанию движений небесных тел, которое вдохновляло как Птолемея, так и его предшественников и современников. Знание этих движений они считали средством для достижения более высокой цели практического знания в отношении будущих событий на Земле, в жизни и судьбе человека. Поэтому за тринадцатью книгами последовали еще четыре, которые хотя и относились также к «Математическому сочинению», но позднее стали издаваться главным образом под названием «Тетрабиблос» («Четырехкнижие»), данным астрологами и математиками. В настоящее время хотелось бы освободить великого астронома от обвинения в том, что он верил в астрологию. Поэтому подлинность «Тетрабиблоса» нередко подвергалась сомнению. Однако и в чисто астрономической работе Птолемея также встречаются высказывания астрологического характера. Так, в конце восьмой книги, говоря о гелиакических восходах и заходах, он отметил, что их влияние на погоду не постоянно, а зависит от противостояний с Солнцем и от положения Луны.

В «Четырехкнижии» Птолемей дал общую теорию влияния небесных тел на земные события и на человека. Там он говорил: «То, что некая сила испускается и распространяется из вечного

мирового эфира на все, что окружает Землю, и то, что оно полностью подвластно изменению; то, что первые подлунные элементы — огонь и воздух — окружены эфиром и изменяются посредством движений в эфире; и то, что они затем также окружают и изменяют все, находящееся внутри них — землю и воду, растения и животных,— это совершенно ясно каждому и мало нуждается в упоминании. Солнце вместе с окружающей его средой неким образом всегда распространяет свой порядок на все, находящееся на Земле... Луна, как ближайшее к Земле тело, оказывает свое влияние на Землю; большинство одушевленных и неодушевленных предметов симпатизируют ей и изменяются вместе с ней: реки увеличивают и уменьшают свои течения с ее светом, моря изменяют свои приливы с ее восходом и заходом, а растения и животные в целом или отчасти растут или уменьшаются вместе с ней... Прохождения неподвижных звезд и планет также дают обильные предсказания относительно состояния окружающей среды (жара, ветер, снег), что обусловливает также все, живущее на Земле. В этом случае расположение звезд относительно друг друга... вносит много сложных изменений. Хотя солнечная сила и преобладает в общем качественном распределении, но другие тела могут добавлять к ней или отнимать у нее свою силу. Луна производит это действие более очевидно и непрерывно в соединениях, квадратуре или полнолунии; звезды делают это за бóльшие промежутки времени и более неясно — при своих появлениях, покрытиях и сближениях» [19]. [Затем следовало детальное изложение вопроса о влиянии движущихся небесных светил в зависимости от их взаимного расположения относительно знаков зодиака и друг друга: в соединениях, противостояниях, конфигурациях в виде треугольника и квадратурах. Говорилось о том, каковы эти положения, какие благоприятные и неблагоприятные действия исходят из различных созвездий и планет и какова связь между жизнью человека и расположением звезд в момент его рождения. Первоначальная цель этой науки была достигнута благодаря указаниям на то, как выводить все эти положения небесных тел при помощи астрономического вычисления] [20].

Таким образом, труд Птолемея предстает перед нами как великий памятник науки античной древности. В течение его жизни и деятельности, протекавших при императорах Адриане и Антонине, в Римской империи царили нерушимый мир и процветание. Казалось, что наконец после всей предшествующей борьбы и хаоса войн цивилизованное человечество, теперь объединенное, вступило в эру солнечного мира, гармонично развитой культуры и успокоительной безопасности. Но это общество прогнило изнутри. Оно переживало лишь прекрасный закат античности, который еще изливал последнее сияние на одряхлевший мир. Вскоре, к концу II в. н. э., бури, на протяжении лишь одного столетия подтачивавшие могущество мировой империи, легко сломили его, а еще через столетие основы античного мира и его культура оказались забытыми.

Все причины этого упадка невозможно здесь обсуждать; кроме того, существует большое различие мнений относительно их разных аспектов и явлений. Прежде всего это — система рабского труда, которая, как рак, разъедала весь уклад жизни античности и превратилась (после прекращения завоевательных войн и поставки рабов) в примитивное крепостное право. Другой важной причиной явилось исчезновение золотых и серебряных денег — истощились испанские серебряные рудники, а золото и серебро уходило в обмен на предметы роскоши из Индии — с последующим прекращением торговли, приостановкой товарного производства и с возвращением к примитивному земледелию для обеспечения собственных потребностей. Это повлекло за собой сильный упадок финансовой мощи государства. Не следует также забывать и об ужасной чуме, занесенной в 188 г. н. э. армиями из Азии, с 2000 смертных случаев в день в одном только Риме. Она пронеслась по всем странам, свирепствовала в течение многих лет и расшатала военную мощь империи. Теперь варварские племена стали наступать, и после опустошительных набегов оседали в обезлюдевших районах. Следует также упомянуть об истреблении аристократов и зажиточных горожан крестьянскими массами и императорскими солдатами. Наконец за столетием непрекращающегося упадка последовало установление деспотического правления должностных лиц до тех пор, пока еще столетие спустя Западная империя не была полностью завоевана вооруженными тевтонскими народами.

В этом хаосе опустошения и отчаянного разрушения древнего общества античная культура также погибла. В народных массах, лишенных всякой надежды на будущее, возникло новое представление о жизни, которое уводило от действительности, стремясь скрасить ее любовью к ближнему и взаимопомощью, искало утешение и защиту в вере в лучшую потустороннюю жизнь. Христианство, постепенно распространяясь, заменило собой старые религии, успешно борясь с языческими системами философии и с уничтожением старой государственной власти, заняло ее место как социальная и духовная организация общества.

В этом новом миропонимании, скрытом от мудреца, но открытом для простосердечного, не оставалось больше места для высокоразвитой науки античной древности. Ее космологическая картина мира была заменена первоначальным библейским учением о плоской Земле, которое действительно соответствовало возврату к примитивным способам производства — натуральному хозяйству,

предназначенному для домашних нужд, уплаты дани и десятин. Тогда как христианские авторы II и III вв. проявляли хорошую осведомленность в своей полемике с языческими философами, астрономические представления отцов церкви в следующие столетия стали более примитивными. Лактанций высмеивал доктрину шарообразной Земли, а Козьма Индикоплевст описывал Землю как прямоугольную и плоскую в соответствии с ее поэтическим изображением в Екклезиасте («Книге проповедников»).

Нечего и говорить о прогрессе астрономии после Птолемея. Те астрономические сочинения, которые еще появлялись, представляли собой краткое изложение и комментарии, дающие толкование классических работ, в том числе и птолемеевской. Для нас они имеют значение потому, что там часто приводились подробности из утраченных впоследствии сочинений. Эти комментаторы были схоластами, а не исследователями. Современники хвалили их не за то, что они делали, а лишь за то, что они знали. Среди них был Прокл, прозванный Диадохом («преемником»), который работал в V в. н. э. в Афинах как последний из языческих философов; он написал полезный комментарий к наиболее простым частям труда Птолемея. Примерно в то же время жил Симплиций, известный комментатор Аристотеля, который, будучи изгнан фанатиками-церковниками Византийской империи (в 529 г.), нашел временное убежище в Персии. Он упоминал, что его учитель Аммоний из Александрии проводил наблюдения Арктура при помощи астролябии. Основное содержание этих и других комментариев составляли простейшие принципы; до научного уровня, достигнутого Птолемеем, они не поднимались. Астрономическая часть работ высоко почитаемого за свою ученость Изодора, архиепископа Севильи (VII в.), который говорил, что звезды получают свой свет от Солнца, что Луна совершает оборот за 8 лет, Меркурий — за 20, Солнце — за 19, а Марс или вечерняя звезда — за 15, показывает, до какого низкого уровня пали астрономические знания в Западной Европе. [Наступил мрак средневековья.]

Но в следующем столетии на Ближнем Востоке появилась новая сила, и в этой части мира выросла побочная ветвь древней астрономии.

ГЛАВА 15

АРАБСКАЯ АСТРОНОМИЯ

В середине VII в. н. э. арабы, покинув свои пустыни, завоевали окружающие их цивилизованные страны,— сначала Египет и Сирию, которые входили тогда в состав Византийской империи, а затем Месопотамию, процветающий центр новой Персидской империи. Это было повторением прежних аналогичных завоеваний, таких как захват Вавилона семитами после 2000 г. до н. э. и более позднее покорение Сирии арамейцами. В Хиджазе, находившемся под влиянием иудейской и христианской религий, где торговля и ремесла достигли наиболее высокого развития, Мухаммед основал и распространял свое учение, направленное на то, чтобы связать разрозненные и вечно враждующие между собой племена в единое могучее целое. Все старые племенные и семейные связи должны были уступить дорогу учению ислама — братства всех верующих. Арабы — народ, состоявший из сильных и выносливых кочевников, разводивших верблюдов, эти гордые воины и корсары, одаренные воображением, обладатели красочного языка и богатой поэзии, стали теперь хозяевами Передней Азии. Своей свежей первобытной силой и новой яркой идеологией ислама арабы дали сильный толчок экономическому и культурному развитию этой части мира, которое под их влиянием достигло наивысшего расцвета. Завоеваниями арабов была создана мировая империя, протянувшаяся от Атлантического побережья Испании и Марокко до Индостана и среднеазиатских степей. По всей этой территории распространились торговля и ремесла, связав в единое экономическое целое значительно удаленные друг от друга области.

Вся империя как религиозная община оставалась единым культурным целым даже тогда, когда она распалась на множество политически независимых государств. Во всех этих странах и главным образом в ряде новых процветающих городов на плодородных долинах Месопотамии, Сирии, Египта и Испании развились художественные ремесла. Взаимный обмен достижениями культуры и науки обеспечивала торговля, доставлявшая товары из Китая и Индии на Запад, а из Византии и Европы на Восток. Защитниками и покровителями наук и искусств стали могущественные правители — сначала халифы Багдада, позднее — султаны таких обособленных стран, как Египет, а затем — турецкие и

монгольские завоеватели из Центральной Азии. Интерес наиболее дальновидных правителей к науке был вызван их заботой о своем здоровье и будущности. Медицина и астрономия, занимавшиеся этими вопросами, пользовались наибольшим уважением. Медицина потому, что поддерживала жизнь и здоровье; астрономия потому, что узнавала будущее и предсказывала судьбу.

Мусульманские ученые (мы называем их арабами, хотя по происхождению они были персами, евреями, а позднее и уроженцами других стран *)) наиболее известны как врачи и астрономы. Они занимались математикой, химией и философией. В основном это были разносторонние ученые. Врачи, как и позднее в Европе, должны были знать также и астрологию, чтобы определять время, благоприятное для различных методов лечения, например, кровопусканий и т. п. Более того, в мусульманском мире существовала и прямая необходимость в астрономических знаниях. В соответствии с идеологией жителей пустыни Мухаммед предписал для счета времени пользоваться чисто лунным годом (из двенадцати лунных месяцев), приспособленным к Солнцу. Поэтому мусульмане проявляли интерес к точному знанию движения Луны и регулярному ее наблюдению. Из-за того, что молитву полагалось совершать в определенное время (причем во время молитвы следовало обращаться лицом к Мекке), были необходимы хорошие клепсидры или солнечные часы, а также вспомогательные средства и методы для того, чтобы в мечетях всего мира можно было указать правильное направление на Мекку.

В период первого расцвета Багдадского халифата (VIII в.) там стали известны некоторые данные античной науки. Первоначальные знания были заимствованы у несторианских христиан, которые нашли убежище от преследований со стороны византийской церкви в Персии и основали здесь свои школы. Однако заимствованное из Индии оказалось более важным. После завоеваний Александра и позднейших македонских правителей Бактрии Индия стала центром распространения греческой астрономии.

В период расцвета более поздней династии Гупты в Индостане (ок. 400—650 гг. н. э.) сложилась литература, состоявшая из математических и астрономических сочинений,— так называемая «Сидханта», написанная различными авторами, среди которых наиболее известен Брамагупта. В этих работах встречается греческая картина мира: шарообразная Земля и круговые орбиты планет (по сравнению с Птолемеем мало детализированные и без экванта). Несколько раз упоминалось даже вращение Земли.

Из Индии эти знания распространились теперь обратно на Запад. Известно, что в 773 г. у халифа ал-Мансура появился человек из Индии, который знал звезды и умел вычислять затмения. После этого халиф приказал перевести индийские книги.

*) В том числе и народов Средней Азии (*Прим. ред.*)

Первые астрономические таблицы в следующем столетии опубликовал ал-Хорезми [1]. Таблицы Хорезми отличались высокой точностью, однако место, где они составлялись, оставалось неизвестным. Единственный экземпляр этих таблиц позднее использовался главным образом в качестве краткого именного указателя. То, что они представляют собой перевод индийских таблиц, ясно из того, что все данные взяты для меридиана Уджайни, столицы одного из государств Центральной Индии, где находилась обсерватория. Все подобные работы состояли только из таблиц с инструкциями для применения, без всякой теории; они предназначались для календарных и астрологических целей. Эти таблицы ввели значительные новшества в западную арифметику, в частности в индийскую систему цифр (со значением места и нулем для свободного места). Впоследствии она получила в Европе название «арабских цифр».

Теперь многих греческих авторов, переведенных несторианцами на сирийский язык, стали переводить и на арабский. Халиф Харун ар-Рашид приказал собрать греческие рукописи; еще большее рвение проявил его сын и преемник — ал-Мамун (правивший с 813 по 833 г.), который в мирном договоре с византийским императором поставил условие о передаче многочисленных греческих рукописей. Среди них была и работа Птолемея, которая с поздней античности была известна как «величайшее сочинение» (*мегисте*), а теперь в соединении с арабским артиклем получила название «Алмагест» (ал-маджисти), под которым она стала известна в Европе много веков спустя. Ее арабский перевод 827 г. находится в библиотеке Лейденского университета.

Так были заложены основы для изучения и самостоятельной работы. Ал-Фаргани (в период позднего европейского средневековья известный под именем «Альфраганус») написал работу о началах астрономии, состоявшую из краткого изложения труда Птолемея с комментариями. Более широко было распространено сочинение его современника Джа'фара Абу Ма'шара (в Европе — «Альбумасар») по астрологии, трактующее о положениях знаков зодиака и планет и их значении. На протяжении всего средневековья эта работа считалась образцовой, и потому она оказалась в числе первых печатных книг (напечатана в Аугсбурге, 1486 г.).

В IX в., первом периоде расцвета арабской ученой, появилось и множество других книг по астрологии. Среди авторов многих сочинений по математике, астрономии и медицине Сабит ибн Курра (826—901) известен главным образом своей теорией «трепидации». По Птолемею прецессия составляет 1° в столетие, но поскольку позднее было обнаружено более быстрое движение, Сабит ибн Курра пришел к выводу, что прецессия переменна и

объясняется колебанием положения точки весеннего равноденствия. Измерения арабских астрономов привели их к выводу и о другом колебании — уменьшении наклона эклиптики с 23° 51⅓′ (птолемеевского значения) до 23° 34′ или 35′.

На основании этих результатов Сабит ибн Курра разработал теорию, по которой нуль-пункт эклиптики, помимо равномерной регрессии, описывал небольшой круг радиусом в 4° за 4000 лет. Эта теория была общепринятой в средние века и из-за своей сложности представляла большие затруднения для астрономов. Отсюда видно, что арабские ученые были не простыми подражателями древней науки, но также и самостоятельными исследователями.

Эта самостоятельность проявляется во всех их работах. Халиф ал-Мамун, для того чтобы проверить высказывание древних о размерах Земли, приказал своим астрономам измерить градус широты в долине Пальмиры. Последователи Мухаммеда нисколько не возражали против предположения о шарообразности Земли, так как Коран по этому поводу ничего не говорил. Сообщают, что во время этого измерения наблюдатели шли от одного пункта к северу и к югу до тех пор, пока не определили, что широта изменилась на 1°; таким образом они нашли, что 1° равен 56⅔ арабских миль, каждая из которых состоит из 4000 «черных локтей» [2]. Арабские астрономы имели инструменты, в принципе соответствующие описанным Птолемеем, такие как армилла, тройной жезл и квадрант. Для простых измерений высоты они пользовались астролябией — градуированным кругом с вращающейся вокруг центра линейкой с визирами; этот круг подвешивался на кольце, которое держали в руке; на обороте астролябии были выгравированы линии и круги, позволяющие находить часовые углы ряда специально выбранных звезд вместо того, чтобы их вычислять. Эти инструменты изготовлялись с большим искусством.

Величайшим среди арабских астрономов считается ал-Баттани (в Европе — «Альбатегниус»); его полное имя было: Мухаммед ибн Синан Абу Абдаллах ал-Баттани (умер в 928 г.).

В это время халифат уже пришел в упадок и лишился могущества, но ал-Баттани происходил из знатного аристократического рода и не нуждался в покровительстве монархов. В городе Ракка между 877 и 919 гг. он провел множество наблюдений и получил иные, чем у Птолемея, результаты. Астрономическая работа ал-Баттани впоследствии неоднократно переводилась и публиковалась в Европе. Он первый ввел в свои таблицы вместо целых хорд половинные для половинных углов, т. е. то, что мы называем «синусами». Он также первым дал методы вычисления сферических треугольников, которые были в дальнейшем развиты более поздними мусульманскими математиками.

Сравнив свое наблюдение 880 г. с птолемеевским, ал-Баттани вывел длину года в $365^d5^h46^m24^s$; если бы Птолемей не дал свою эпоху равноденствия с ошибкой в 1 день, то результат должен был бы получиться на 1^m58^s больше, т. е. почти точный. Из продолжительности времен года на основании своих наблюдений (93 дня 14 часов для весны; 93 дня 0 часов для лета) ал-Баттани вывел долготу апогея в 82°17′ и совершенно правильный эксцентриситет 0,0346. Его апогей был на 16°47′ больше птолемеевского; он определенно установил отличие своих результатов от птолемеевского значения, но не говорил о регулярном его возрастании. Оно значительно превосходило увеличение из-за прецессии (10°,4 за 740 лет); таким образом, ал-Баттани первым открыл продвижение солнечного апогея относительно неподвижных звезд. Сам он заметил только, что апогей увеличивается по долготе вместе со звездами, и впоследствии использовал изменяющуюся прецессию также и в других случаях. Его звездный каталог был птолемеевским, но с долготами, увеличенными из-за прецессии.

Ал-Баттани говорил, что наука звезд следует сразу же за религией, так как является наиболее благородной и совершенной из наук, украшающей ум и формирующей интеллект, потому, что она стремится к познанию божественного единства и высшей божественной мудрости и могущества [3]. Он не говорил об использовании астрономии для изучения влияния звезд на земные события. Но, поскольку в других местах ал-Баттани писал о соединениях и составил комментарий к «Тетрабиблосу», ясно, что астрология была для него само собой разумеющейся.

Таблицы ал-Баттани, конечно, были сложными, потому что они базировались на теории Птолемея. Возможно, что по этой причине старые, менее совершенные, но более удобные таблицы ал-Хорезми были переизданы испанским астрономом Масламой ибн Ахмадом (умер в 1008 г.), пересчитаны к меридиану Кордовы и дополнены выдержками из ал-Баттани.

В то же время (X в.) следует упомянуть и Абдаррахмана ибн Умара, прозванного ас-Суфи («мудрец») [4], потому что в книге о неподвижных звездах он брал долготы по Птолемею, увеличивая их на 12°42′, и давал величины звезд на основании собственных тщательных наблюдений. Таким образом, его работа является ценным независимым источником знания о блеске звезд в X в. В то же время в Египте, находившемся под властью султана ал-Хакима из династии Фатимидов, астроном Ибн Юнус не только опубликовал новые таблицы («Хакимитские таблицы») с теорией и методами вычисления, но сообщил также множество наблюдений затмений, соединений и высот Солнца, заимствованных частично у различных арабских наблюдателей, начиная с 829 г., а частично из собственных наблюдений в Каире, проводившихся с 977 по 1007 г.

Около того же времени правивший в Месопотамии турецкий правитель Шараф ад-Давла приказал построить в своем саду в Багдаде обсерваторию и оборудовал ее многочисленными новыми инструментами. Здесь астрономы, среди которых наиболее известен Абу л-Вафа, проводили наблюдения равноденствий, солнцестояний и наклона эклиптики.

В дальнейшем астрономия стала развиваться и в других подвластных арабам странах. Высокого расцвета достигли искусства и науки в Испании XI—XII вв. в период кордовского халифата.

Наиболее выдающимся испанским астрономом этого времени был Ибн аз-Заркали («Арзахель», 1029—1087 гг.); он опубликовал «Толедские таблицы» с описанием инструментов и методов их использования, в особенности астролябии. Он провел много наблюдений, из которых вывел солнечный апогей в 77°50′, т. е. меньший и с меньшей точностью, чем аль-Баттани. Несколько позднее жил Джабир ибн Афлах, чья астрономическая работа была переведена на латинский язык и часто публиковалась в средневековой Европе.

В XIII в. могущество ислама в Испании пало. Христиане-кастильцы, как истые религиозные фанатики, нуждавшиеся, кроме того, в южных зимних пастбищах для выгодного разведения овец, прекрасная шерсть которых шла на изготовление фламандской одежды, завоевали Андалузию с ее столицами Кордовой и Севильей и положили конец процветанию арабского садоводства *).

Последнего расцвета арабская астрономия в Испании достигла при короле Альфонсе X Кастильском, прозванном «Мудрым», который собрал вокруг себя многих астрономов для того, чтобы составить новые астрономические таблицы. Эти «Альфонсинские таблицы» находились в употреблении с 1252 г. в течение трех столетий, вплоть до середины XVI в. Во главе группы астрономов стоял еврейский ученый Исаак бен Саид, поэтому по традициям еврейских юбилейных лет период прецессии в таблицах был принят равным 49 000 лет, а период трепидации — 7000 лет.

В том же столетии на Востоке, в 1259 г., монгольский правитель Хулагу-иль-хан, внук Чингиз-хана, приказал построить обсерваторию в Мараге (близ Тавриза в Персии). Этой обсерваторией руководил его советник Насирэддин ат-Туси (умер в 1274 г.), одаренный астроном из Хорасана [5]. Большие средства были затрачены на библиотеку, состоявшую из 400 000 рукописей, и на многочисленные инструменты новой конструкции, среди них был и неподвижно укрепленный в стене большой квадрант радиусом в 3¼ метра, построенный ал-Урди. После 12 лет неутомимых наблюдений планет Насирэддину ат-Туси и его помощникам удалось составить «Ильханские таблицы».

*) А. Паннекук совершенно игнорирует деятельность двух выдающихся астрономов арабской культуры — хорезмийца Бируни и таджика Омара Хайяма. (*Прим. ред.*)

Еще два столетия спустя астрономия вновь достигла расцвета в Самарканде. Улугбек, внук монгольского завоевателя Тамерлана, в правление своего отца приказал построить здесь богато оборудованную обсерваторию, на которой он проводил наблюдения. Для точного определения высот Солнца использовался инструмент, представлявший собой дугу круга, вероятно, квадрант радиусом в 20 *м* [6]. Он был установлен в меридиане места и неподвижно закреплен в стене. Улугбек также заново определил положения звезд, он был единственным *) из восточных астрономов, который не просто копировал Птолемея, исправив долготы звезд его каталога за прецессию, а основывал свой каталог на собственных наблюдениях. Этот звездный каталог, составлявшийся в 1420—1437 гг., стал известен в Европе лишь столетие спустя и был напечатан только в 1665 [и 1667 гг.], когда его уже превзошли европейские каталоги.

Следует упомянуть также несколько наиболее важных для мусульманской астрономии имен. Г. Зутер в своем списке астрономов и математиков перечисляет почти 400 имен тех, кого их современники и последователи восхваляли как великих ученых. Среди них много и таких, чьи основные заслуги относятся к другим областям науки, например к химии и медицине. Ибн Сина («Авиценна», 980—1037 гг.), знаменитый врач и философ, интересовавшийся также и астрономией, проводил наблюдения и издал краткое изложение труда Птолемея. В то время еще можно было овладеть всеми этими науками одновременно. Но быть ученым не всегда означает быть исследователем. Конечно, арабские ученые этого периода много наблюдали, строили новые инструменты и, по-видимому, в области практической астрономии были более деятельны, чем греки. Кроме того, и точность их наблюдений нередко превосходила результаты античной древности. Однако целью этих работ было не дальнейшее развитие астрономии — такая идея в то время совершенно отсутствовала,— а продолжение и уточнение наблюдений, начатых предшественниками. Постоянное издание новых таблиц не означало улучшения точности их значений. Таблицы были необходимы для астрологических целей, поэтому астрономам приходилось вычислять и издавать их каждый раз заново. Если они были добросовестны, то не ограничивались рабским копированием античных образцов, а проверяли положения планет по своим собственным наблюдениям.

В своих теоретических воззрениях мусульманские ученые не превосходили античных мыслителей [7]. Хотя они часто не соглаша-

*) Заново определяли положение звезд и некоторые другие предшественники Улугбека. (*Прим. ред.*)

лись с теорией Птолемея, отклонение от этой теории объяснялось их предпочтением Аристотелю. Сообщают, что уже Сабит ибн Курра полагал, что каждая планета находится между двумя эксцентрическими сферами. У Ибн ал-Хайсама («Альгазена»), известного своей работой о рефракции света, было 47 сфер, причем все они вращались друг в друге различным образом. Птолемеевская концепция нескольких воображаемых окружностей, представляющих орбиты, была для них мало конкретной.

В XII в. мусульманские мыслители, особенно в Испании, тщательно изучали и развивали философию Аристотеля. Наиболее известный из них, Мухаммед ибн Рушд («Аверроэс»), использовал ее для создания пантеистической философии, которая распространилась в Европе и была осуждена церковью как опасная ересь. Он и его сторонники считали, что движение вокруг любого центра возможно лишь в том случае, когда в центре находится не воображаемая движущаяся точка, а какое-либо плотное неподвижное тело, вроде Земли. Еврейский ученый Мозес бен Маймон («Маймонидес»), так же как и марокканский астроном ал-Битруджи («Альпетрагиус»), отвергали теорию эпициклов, причем ал-Битруджи рассматривал движение Солнца, Луны и планет как отставание от суточного вращения неба, т. е. возвратился к прежним идеям Платона. Таким образом, в арабской астрономии наблюдался блестящий подъем, не имевший, однако, большого значения для дальнейшего развития науки [7]. Через несколько столетий он сменился спадом. То же, собственно, произошло и со всей мусульманской культурой в целом.

Первый мощный импульс завоеваний, вызванный большим религиозным энтузиазмом, создал мировую империю, в которой торговля и ремесла при социальном и экономическом процветании породили особую цивилизацию. Но толчок к непрерывному прогрессу отсутствовал; в умах господствовал успокоительный фатализм. Затем из степей Азии начались опустошительные набеги монголов; так как во время своих неотразимых нападений монголы до основания разрушали города, истребляли жителей, разрушали ирригационные сооружения, то процветающие, густонаселенные районы превратились в безжизненные пустыни. Могущество и расцвет ислама пришли в упадок, а вместе со всей его культурой — и астрономия. Из богатых библиотек сохранилось немногое; неизвестно, существует ли теперь арабская рукопись таблиц ал-Хорезми. Важность арабской астрономии заключается в том, что в переводах, комментариях и толкованиях она сохранила науку античной древности, накопила новые наблюдения и передала это наследие христианскому миру [7]. Таким образом, мусульманская астрономия оказала значительное влияние на первый подъем астрономии в средневековой Европе.

440

ЧАСТЬ II

ВЕК РЕВОЛЮЦИИ

ГЛАВА 16

МРАЧНАЯ ЕВРОПА

В IX и X вв., когда под воздействием торговли и ремесел культура и наука ислама достигли своего наивысшего расцвета, Европа была варварской страной, впавшей в полное бессилие. Арабы властвовали на Средиземном море. В 846 г. они разграбили город Рим и захватили не только Испанию и Сицилию, но также и Прованс, откуда совершали набеги на Францию. С севера Западную Европу грабили и завоевывали викинги, с востока — вторгались и опустошали ее угорские племена. Экономическая жизнь постепенно сократилась до жалкого натурального хозяйства крепостных крестьян, находившихся под властью рыцарей и князей, священников и монахов, едва ли менее невежественных, чем сами крепостные. Убогое знание латыни и некоторых латинских авторов с трудом удерживалось в нескольких монастырях. Латынь, которая до VII в. еще оставалась живым языком, теперь превратилась в церковный язык, знание которого стало привилегией церкви.

«В следующие столетия,— говорил Пиренн,— вне церкви не было науки. И все же при этой глубочайшей депрессии связь человека с небом и наукой была не совсем потеряна» [1]. Правила для установления даты пасхи составляли часть христианского учения; поэтому были необходимы священники, знавшие кое-что о движении звезд, которые могли, хотя бы с трудом, провести вычисления по сохранившимся с древности инструкциям. Как тонкий ручеек науки, бежало сквозь эти столетия *компутус* (т. е. вычисление, которое всегда означало календарный расчет). Даже раньше английский монах Беда, прозванный Достопочтенным (родился в 672 или 673 г., умер в 735 г.), вычислял список дат пасхи; в его сочинениях проявилось знакомство с римскими авторами — Плинием и Сенекой, а также с шарообразностью Земли. Таинственные изменения даты пасхи монах Ноткер из монастыря Сен-Голл, известного в то время центра учености, считал частью общего господства небесных тел над земной жизнью.

Около 1000 года европейский мир начал оправляться от перенесенного потрясения. Норманны и угры были отброшены назад, обращены в христианство и приобщены к европейской культуре. Итальянские портовые города захватили торговые пути на Среди-

земном море и стали центрами процветающей торговли. В других местах вокруг рынков и замков начали возникать города,— узловые пункты торговли Италии с портами Северного моря. Стали основываться новые монастыри как центры работы и учебы, более глубокого знания христианского учения и более строгого образа жизни.

В XI в. под руководством Гильдебрандта — впоследствии папы Григория VII — церковь выросла в хорошо организованную клерикальную иерархию, управляемую Римом. Папство, наряду с феодальной королевской и императорской властью, захватило духовную власть, взяло на себя духовное руководство европейским обществом. Вскоре оно почувствовало себя достаточно сильным для того, чтобы начать наступление против мусульманского мира и наконец обезопасить христианство с этой стороны.

Крестовые походы привели грубый, примитивный мир рыцарей и монахов в соприкосновение с утонченной, но уже клонившейся к упадку арабской культурой. Теперь начался духовный подъем христианской Европы при помощи арабской науки. Это благотворное влияние исходило из мусульманской Испании. Известно, что ученый Герберт, впоследствии папа Сильвестр II (999—1004) [2], расспрашивал в Барселоне о книгах по астрологии; ему же приписывали авторство вышедшего в то время сочинения об астролябии. Столетием позднее Аделяр из Бата лично ездил в Испанию для изучения арабской мудрости, которую по возвращении на родину он превозносил и разъяснял в своих сочинениях. В 1126 г. он издал латинский перевод астрономических таблиц ал-Хорезми в версии Маслами, следовательно, исходящей из первоначальных, а не высокоразвитых форм арабской астрономии. Он перевел также астрологическую работу Албумасара. Такой перевод был весьма трудным делом, так как более или менее подходящие термины приходилось придумывать самостоятельно. Первые таблицы европейской астрономии свидетельствовали о неловкости новичка; в латинском тексте или в заглавиях таблиц оказывались непереведенными некоторые арабские слова, например: «нахождение elgeib для дуги» (нахождение синуса дуги) [3]. Часто мы встречаемся с латинскими словами, совершенно отличными от более точных терминов, принятых позднее, такими, например, как «наклонность» для обозначения того, что позднее было названо «склонением» Солнца. Некоторые арабские слова остались в употреблении как технические термины, например «азимут», «зенит» и «надир». Таким же образом названия некоторых звезд, обозначавших по-арабски просто некоторые объекты или части тела, стали собственными именами в европейской астрономии, например Бетельгейзе («плечо гиганта» — бат ал-джавза) [4] и Алголь («голова чудовища» — ра' с ал-гул) [5].

Теперь появились и другие переводчики арабских научных сочинений. Наиболее известным среди них был Герхард из Кремоны (1114—1187), который ездил в Толедо искать работу Птолемея и нашел там множество книг не только арабских авторов, но также и ученых античной древности. Он занялся изданием переводов с арабского на латинский язык. Сначала был переведен «Алмагест» (1175 г.; перевод, сделанный в Сицилии незадолго до этого непосредственно с греческого, был мало известен), а затем также сочинения Эвклида, Галена, Аристотеля, Архимеда и других. Теперь были основаны университеты в Болонье, Париже и Оксфорде, где преподавалась античная наука, которая начала привлекать к себе внимание, однако при этом не обошлось без борьбы. Аристотель сначала был запрещен в Парижском университете. Несмотря на это, новые идеи быстро распространялись по всему европейскому миру, который теперь перерос мировоззрение примитивного общества, основанного на натуральном крестьянском хозяйстве.

К концу XII в. объединение европейского христианского мира закончилось. К этому времени церковь стала ведущей духовной и политической силой в феодальном обществе князей и рыцарей, аббатств и монастырей, крестьян и горожан. По всем странам Западной Европы поднялись шпили готических соборов — символы стремления городов к свободе, пока еще скрытого под церковным облачением, а при дворах феодалов процветала поэзия рыцарства. Духовенство составляло интеллектуальный класс в этом простом обществе земледельцев, ремесленников и торговцев и исполняло общественные функции духовного, административного и научного руководства.

При Иннокентии II папство достигло вершины своего могущества и стало всеобщей монархией христианского мира, управляющей королями и императорами *). Были основаны Францисканский и Доминиканский ордена, действовавшие как сильная моральная и интеллектуальная церковная полиция. Благодаря их проповедям и пропаганде (подкрепленным вскоре преследованием и инквизицией) все идеи, отклоняющиеся от общепринятых, были объявлены враждебными и пресекались, а сторонники этих идей уничтожались; таким образом, было установлено единство церковной доктрины. Именно из этих кругов и выходили теперь представители науки.

В начале XIII в. переводческая деятельность была закончена; за ней последовало усвоение, критическое обсуждение и независимая созидательная работа. Изучение астрономии как особой

*) А. Паннекук забывает о Древней Руси, Болгарии, Византии. (*Прим. ред.*).

науки ограничивалось главным образом «сферикой», учением о небесной сфере и явлениях, происходящих из-за ее суточного вращения. Руководство по этому предмету, написанное Иоганном Сакробоско (Джоном из Холивуда), который умер в 1256 г. в Париже, широко использовалось еще три столетия спустя. Теперь появилась новая астрономическая картина мира, которая составляла часть общего мировоззрения, выработанного схоластами XIII в.

Наиболее способным и оригинальным мыслителем и учителем этого столетия был доминиканский монах Альберт Магнус (Альберт фон Больстедт, 1193—1280 гг.) [6], который в своих сочинениях излагал представления Аристотеля о строении мира, а также ссылался на Птолемея как астролога. Еще бóльшую известность завоевал его собрат по ордену и ученик Фома Аквинский (1225—1274), менее оригинальный, но более методичный ум. В своих работах он объединил космологию Аристотеля с учением церкви в одну систему мышления, которая под именем схоластики господствовала в умах людей на протяжении многих столетий. Их взгляды разделял и францисканский монах Роджер Бэкон, который также восхвалял Аристотеля как источник мудрости и резко критиковал свой век и его ученость. Он высказал фантастические соображения о будущих машинах и рекомендовал (как и другие) эксперимент («experimentatio») в качестве истинного метода для приобретения знаний; вследствие этого его часто провозглашали предшественником более позднего естествознания.

Таким образом, астрономическая картина мира в Европе снова поднялась до уровня греческой античной культуры: вокруг шарообразной Земли, находящейся в центре мира, движутся по небесной сфере планеты и звезды. Вот какое описание мира мы находим в «Божественной комедии» Данте, где ад был помещен на самой большой глубине, т. е. в центре Земли. Со своим спутником поэт спустился к центру, где отбывал свое наказание Люцифер, а затем снова поднялся на поверхность Земли с противоположной ее стороны. Там было более тихое небо, которое позднее Колумб надеялся найти в мягком климате Антильских островов [7]. Затем он поднялся на гору Пургатори [8], с которой всходили сферы планет.

Однако следует добавить, что система мира тех дней не ограничивалась здравым построением аристотелевского космоса. В ней господствовала, заполняя ее, астрология. Область звезд, расположенная по ту сторону земных событий, заставляла средневекового человека смотреть на астрономию как на высшее учение о мире. Вера в тайные силы и магию была тогда всеобщей и была распространена даже среди наиболее известных ученых. Знание тайн природы делало их магами, чудотворцами.

Изучение природы на ранних стадиях близко ассоциировалось с магией, и всех великих ученых: Птолемея и Галена, так же как и Авиценну, Герберта и Альберта Магнуса, их современники и потомки считали колдунами и чудотворцами. О законах природы было известно так мало, что все сотворенное казалось чудом, удивительным миром, в котором все было возможно или могло оказаться истинным и в котором все так называемые «факты» принимались с наивной доверчивостью. Вместе с наукой у античной древности были восприняты и ее суеверия, а среди них и астрология, казавшаяся важнейшей наукой, всеобъемлющим учением о мире.

Это относится также и к упомянутым выше трем великим мыслителям XIII в., чьи взгляды на астрологию были по существу сходными: звезды управляют земными телами, бог управляет низшими созданиями при помощи высших и всеми предметами на Земле посредством небесных сфер. Таким образом, движение звезд определяет жизнь на Земле, а соединения планет нарушают правильный порядок событий. Для человека это не является неизбежной судьбой; он не полностью ей подвластен. Его воля свободна потому, что его душа, как более высокая сущность, исходит из Высшего существа. Только в том случае, когда ему не удавалось оказать сопротивление тому, что заложено в нем от природы, власть звезд захватывала его. Следовательно, гороскопы использовались как предостережения, и предсказания должны были придерживаться таких же общих условий (в этом и заключалась причина резкой критики астрологических предсказаний) [9]. Примирившись в такой форме с церковным учением, астрология продержалась и на протяжении следующих столетий (несмотря на множество скептиков и противников).

ГЛАВА 17

ВОЗРОЖДЕНИЕ НАУКИ

В XIV в. мечта церкви о создании всеобщей монархии христианской Европы рассеялась. Средневековый мир принял новые формы. Во всех странах выросли города как центры ремесел и торговли; городские жители, процветание и власть которых возрастали, составили класс, все все более и более определявший вид общества. Короли, поддерживаемые финансовой мощью буржуазии, установили централизованную государственную власть с мирянами в качестве гражданских должностных лиц. В непрекращающейся борьбе власть королей Франции, Англии и Кастилии возрастала и заменила собой власть пап, которая часто бывала немногим бо́льшей, чем власть зависимых от Рима епископов. Светская власть заняла место церковной власти. Духовенство уже не было больше духовным вождем; интеллектуальное руководство обществом перешло в руки мирян. Вырос интерес к науке среди городских жителей, которые стремились к знанию, что способствовало развитию ремесел и выдвигало желающих подняться до положения мастеров нового мира. Их сыновья стали посещать университеты, число которых быстро росло, они изучали там римское право и становились должностными лицами и советниками князей, помогая им понять феодальное право и феодальное общество при помощи этой новой юридической доктрины.

Научные занятия все еще состояли в усвоении знаний и всей культуры и науки античности в целом. Но тут и там возникал и новый дух — дух независимого исследования, новых и смелых идей, дух стремления к дальнейшему прогрессу. В Парижском университете группа философов (Жан Буридан, Альберт Саксонский и Николай Орем), предшественников ученых XVI в., нападала на аристотелевскую физику, особенно на его теорию движения. Но вскоре, по мере того как Франция все более и более опустошалась Столетней войной с Англией, влияние этих философов было сведено на нет под натиском схоластики.

Именно Германия и Италия (Франция была разорена Столетней войной) главным образом составляли теперь авангард возрождения. В Италии за два предшествующих столетия городская буржуазия достигла большой власти и богатства благодаря близости к источникам восточной торговли. Именно здесь начали процветать искусства и науки. Германия оказалась на пересечении торговых путей между Италией и Севером, Восточной Европой и Западом: в таких преуспевающих городах, как Нюрнберг, Аугсбург и Колонь, правил сильный и независимый класс буржуазии [1]. Здесь большие капиталы уже сосредоточились в руках таких финансовых магнатов, как Фуггеры и Вельсеры, которые в XVI в. вершили мировую политику [2]. В то время как Париж утратил свое ведущее положение в науке, были основаны новые университеты в Праге, Гейдельберге, Вене и Лейпциге *).

Источники античного знания расцвели еще более пышно. Византийская церковь, ища помощи для борьбы с турецкой агрессией, вступила в тесный контакт с римской церковью; таким образом, знание греческого языка распространилось среди ученых Запада. Многочисленные греческие рукописи были вывезены на Запад, особенно в Италию, где их ревностно собирали и изучали; они представляли собой оригинальные тексты древних авторов вместо испорченных и часто невразумительных переводов с сирийского и арабского. Западный мир созрел для того, чтобы овладеть всем духовным наследством античной культуры. Дух гуманизма с некоторым языческим оттенком вдохновлял ученых, как духовных, так и светских. Началась замена схоластики. В астрономии выдающееся место заняло изучение Птолемея.

Для астрономических исследований открывались два пути, по которым и шло развитие: собирание и изучение не испорченных ошибками рукописей древних и производство новых наблюдений. Наблюдения при помощи простых инструментов, заимствованных главным образом из арабских сочинений, производились уже и в прежние столетия; наиболее широко употреблявшимся в средние века инструментом была астролябия, многие образцы которой все еще можно увидеть в наших музеях. Более точными инструментами пользовался Гильом Сен Клу, измеривший около 1290 г. в Париже высоты Солнца, из которых он смог вывести широту места своего наблюдения и наклон эклиптики (23°34′); в 1284 г. он наблюдал также соединение Юпитера и Сатурна. Паоло Тосканелли (1397—1482), впоследствии первый советник Колумба, систематически отмечал положения комет среди звезд — в 1433, 1449, 1456 и в последующие годы. В Вене Георг Пурбах (1423—1461), взявший себе имя по месту своего рождения в Австрии, преподавал в университете после путешествия по Германии и Италии. Он первым в Западной Европе изложил птолемеевскую теорию эпициклов в книге, названной «Новая теория планет», где он включил ее в аристотелевскую систему мира, отделив

*) В эти же годы был основан и Краковский университет. (*Прим. ред.*)

область каждой планеты от соседней твердыми сферическими оболочками.

К нему пришел в качестве ученика, а затем помощника Иоганн Мюллер из Кенигсберга (села во Франконии), который позднее получил имя Иоган де Монте Регио, а в астрономической литературе был известен как Региомонтан[3]. Он жил с 1436 по 1476 г. В течение 1456—1461 гг. (вместе с Пурбахом) он выполнил много наблюдений затмений, комет и солнечных высот, в ходе которых было замечено, что Альфонсинские таблицы давали ошибку на несколько градусов. В связи с дипломатическим визитом в Вену кардинала Бессариона, прелата Византийской церкви, у Пурбаха и Региомонтана возникла мысль получить лучшие рукописи Птолемея. Их план — вдвоем сопровождать кардинала при возвращении в Италию — был расстроен преждевременной смертью Пурбаха; теперь Региомонтан один поехал с кардиналом в Италию, где он изучал греческий язык, собирал и снимал копии с греческих рукописей и читал лекции по астрономии. После короткого визита в Венгрию (где также находились греческие рукописи) Региомонтан в 1471 г. поселился в городе Нюрнберге. Здесь, в центре пересечения европейских торговых маршрутов, процветающие ремесла предоставляли наиболее благоприятные возможности как для постройки инструментов, так и для печатания книг.

Действительно, только что изобретенное искусство книгопечатания открыло новые возможности для науки. Печатание книг с тщательным исправлением текста положило конец многочисленным ошибкам, возникавшим при переписывании рукописей. Правда, новый процесс еще не включал печатания таблиц и чертежей, поэтому Региомонтану пришлось основать собственную типографию и инструктировать наборщиков. Сохранилось циркулярное письмо, в котором он перечислял названия книг, предназначенных для печатания. Этот список из 22 книг на латинском языке включал главным образом работы древних астрономов и математиков. Под третьим пунктом значилась птолемеевская «География», а под четвертым — «Астрономия» («Великое сочинение Птолемея, которое вульгарно называют Алмагест, в новом переводе»). В списке были также сочинения, альманахи и небольшие работы Архимеда, Эвклида, Теона, Прокла, Аполлония и других.

Региомонтан начал с опубликования планетной теории своего учителя Пурбаха и астрономической поэмы Манилия; затем вышли тщательно вычисленные календари на латинском и немецком языках. Он получил большую известность за свои «Эфемериды», в которых были вычислены положения Солнца, Луны и планет на 32 года, с 1475 по 1506 г. После этого в 1475 г. папа вызвал его в Рим для проведения настоятельно необходимой реформы календаря. Здесь он и умер в следующем году. Обширные проекты Региомонтана остались незаконченными; типография закрылась, а рукописи рассеялись по свету. Собственные его работы были напечатаны лишь 40 лет спустя; он не смог выполнить перевод Птолемея, который не издавался до 1505 г. (когда в Венеции был напечатан старый латинский перевод), пока не появилось в 1538 г. в Базеле первое напечатанное по-гречески издание Птолемея.

Не только печатанием работ, но еще более своей практической астрономической деятельностью (т. е. наблюдениями) Региомонтан привлек к себе в Нюрнберге кружок поклонников науки, изучающих ее, которые также предоставляли деньги на печатное дело. Среди них были аристократы Виллибальд Пиркхеймер и Бернгард Вальтер, оба — гуманисты, весьма сведущие в греческом языке. Вальтер стал учеником Региомонтана в практической астрономии и в своем доме оборудовал комнату для установки инструментов, т. е. первую настоящую обсерваторию, где они вместе проводили наблюдения. После смерти Региомонтана Вальтер неутомимо продолжал наблюдать небесные тела. Ко времени своей смерти в 1504 г. он выполнил 746 измерений солнечных высот и 615 определений положений планет, Луны и звезд. Это были первые непрерывные ряды наблюдений на новом подъеме европейской науки; столетием позднее Тихо Браге и Кеплер использовали их в своей работе.

Инструменты, которыми они пользовались, были сделаны из дерева по чертежу Региомонтана и имели довольно простое устройство. Первым из них был так называемый *драйштаб* (тройная рейка), называемый также *трикветрум*, описанный уже Птолемеем (см. стр. 198, рис. 19). Он состоял из рейки длиной около трех метров (с двумя визирами, чтобы направлять ее на звезду), которая шарнирно прикреплялась к вершине вертикального шеста; нижний конец прижимался ко второй рейке, градуированной и шарнирно скрепленной в нижней точке с шестом. [Шест прижимался к визирной пластинке, а затем производились отсчеты. Отсчет, т. е. длина основания равнобедренного треугольника, позволял найти его вершину, т. е. расстояние звезды от зенита.] Этот инструмент применялся главным образом для измерения полуденных высот Солнца; 1 *мм* на разделенной рейке соответствовал примерно 1′ на небе. Более широко применявшимся устройством был поперечный жезл для измерения расстояния между двумя небесными объектами (рис. 20). Он состоял из длинной градуированной рейки и поперечной рейки. Первую держали в руках и направляли глаз посередине между двумя звездами. Перемещая поперечную рейку вдоль вертикальной, устанавливали ее так, чтобы обе звезды совпадали с ее концами. Отсчитанное на

глаз расстояние поперечной рейки было мерой дугового расстояния между двумя звездами.

В течение нескольких столетий поперечный жезл был наиболее распространенным инструментом, при помощи которого мореплаватели измеряли высоту Солнца или звезды над горизонтом. Впоследствии, в 1488 г., Вальтер сделал армиллу, также по птолемеевскому описанию (стр. 167), с которой после тщательного регулирования он смог непосредственно снимать долготу и широту планеты. Пытаясь измерять расстояние по интервалам времени, он пользовался также часами, хотя в то время они были несовершенны, поскольку регулятором в них было только трение. О тщательности его наблюдений свидетельствует тот факт, что ему удалось открыть смещение Солнца вверх вблизи горизонта, которое он правильно объяснил атмосферной рефракцией. Аккуратность его наблюдений еще яснее проявилась в точности, которой он достиг; его положения планет, измеренные при помощи поперечного жезла и армиллы, имели среднюю ошибку не более 5′, а ошибки в солнечных высотах обычно были у него меньше 1′. Его младший сотрудник Иоганн Шонер, который продолжил его работу, позднее опубликовал все эти наблюдения.

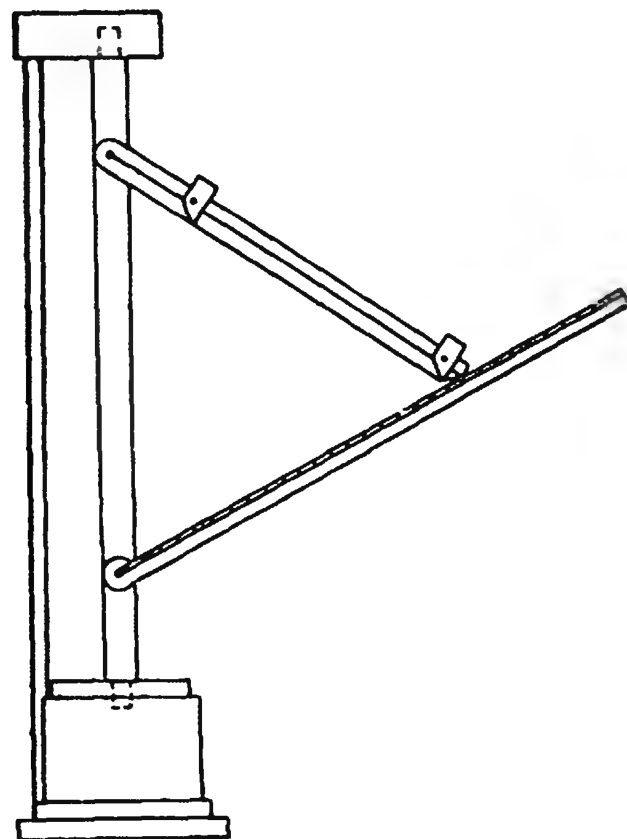


Рис. 19. Трикветрум Региомонтана.

Таким образом мы видим, как в XV в. наука приобрела новый вид. В предшествующие столетия наиболее прославленными учеными были схоласты, а не исследователи. Высшей целью их было овладение всей древней мудростью. Они воспроизводили науку такой, как находили ее, но они не создавали нового знания. Книги и сочинения, а не эксперименты и наблюдения были источником их знаний. Однако теперь началась новая эра, когда наблюдение новых явлений стало источником непрерывного научного прогресса.

Теперь наука в Европе поднялась до высшего уровня, достигнутого в античной древности, и даже превзошла его. Птолемеевская планетная теория была полностью понята, а наблюдения Региомонтана и Вальтера превзошли по точности наблюдения Гиппарха и Птолемея. Но главным пунктом было следующее: то, что в древности являлось конечным пунктом исследования, а в

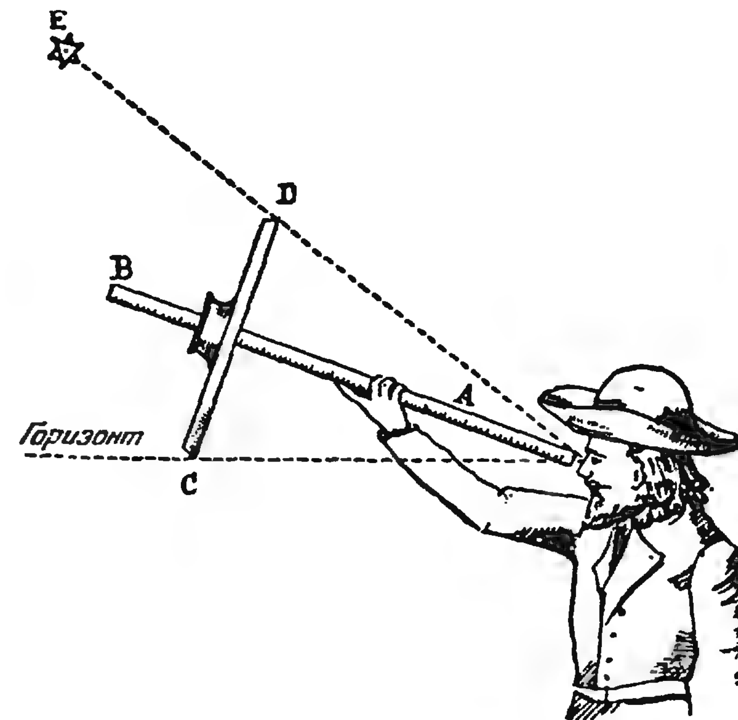


Рис. 20. Жезл Якоба.

арабском мире вершиной всего, что было достигнуто, здесь, в Европе, стало отправной точкой для непрерывного и быстро растущего прогресса.

Как возникло такое различие? Вопрос важен не только для астрономии, но и для всего естествознания в целом. Подъем науки в эти и последующие столетия, который составил основу современного общества и его культуры, начался с подъема астрономии. Когда мы смотрим на причины и связи, нам сразу же бросается в глаза то, что теперь в этой новой Европе была совершенно иная культура, иное общество и тип человека был в корне отличен от устаревшего типа глубокой античной древности или от фаталистического типа, сохранявшего прежнее величие Востока. Теперь существовало сильно выросшее общество, бюргерский мир, полный энергии, новый тип людей, которые взяли нить истории там, где она выпала из рук античной древности. Не имел ли тут значение расовый гений? Но греки и римляне были родственной расой, а арабы, безусловно, не были ниже их по талантам и способностям. [Возможно, какую-то роль играл и стимулирующий климат этих стран] [4], но и в этом отношении Италия эпохи Возрождения не могла заметно отличаться от Италии времен Рима. Мы

не очень сильно ошибемся, если предположим, что среди всех взаимодействующих влияний на экономику важнейшее значение имели общественный строй и формы труда.

Варвары, т. е. тевтонские и сарматские племена, разрушившие Рим, потомки которых создали средневековое европейское общество, знакомились с деградацией рабовладельческой формации не как с господствующей экономической системой, а чаще всего случайно. Их удивительная работоспособность, находившая простор для проявления инициативы даже при крепостном праве, сделала экономическую систему феодализма источником средневековых крестьянских восстаний и гражданских свобод. Ремесла и торговля, вдохнувшие в прежних варваров свежую энергию, направлявшуюся на развитие различных технических методов, на поиски новых торговых путей, на организацию мастерских, накопление капитала и вложение его в различные предприятия,— эти ремесла и торговля явились той движущей силой, которая революционизировала общество.

Вместе с усилением индивидуализма выросла и новая культура, которая искала опоры в возрождении античного мира, чтобы освободиться от корпоративных уз средневековья. Но этой цели удалось достигнуть только при высшем напряжении сил. Дух отваги и авантюры, который помогал людям того времени переплывать океан и открывать новый мир, привел их также и к новым открытиям в науке.

Таким образом они превзошли античную древность, но восприняли это не как разрыв с античностью, а как продолжение ее. Все их стремления были направлены на очищение от средневекового варварства, к возрождению, оживлению культуры античного мира. Возрождение было для них восхитительным открытием красоты, мудрости, жизнерадостности античного мира, который они считали вершиной человеческой цивилизации и которую страстно изучали. Только после того, как они восприняли все это, можно было говорить о дальнейшем развитии.

Главной наукой, к которой все сказанное применимо, и, собственно говоря, единственной наукой, заслуживающей такого названия, была астрономия. Сильные общественные потребности выдвинули ее на передний план. Прежде всего это были требования хронологии. Календарь находился в беспорядке, древние правила интеркаляции оказались недостаточно точными и расхождения стали недопустимо большими. Весеннее равноденствие пришлось на 11 марта вместо 21 марта, а полнолуния наступали на 3 дня раньше; таким образом, вычисление дня пасхи было совершенно неправильным. Региомонтану было предложено объяснить папе, нужны ли новые наблюдения для того, чтобы обеспечить прочную основу для исправления старых правил.

Следующими оказались нужды навигации, которая на широких просторах океанов предъявляла более строгие требования, чем торговля раннего средневековья. Теперь необходимы стали звезды, Солнце и Луна для того, чтобы находить положение корабля на море, т. е. определять географическую широту и долготу. Иберийские народы (сперва каталонцы, а затем португальцы и испанцы) первыми открыли пути через океаны. Они использовали астрономические знания, заимствованные из арабской науки, главным образом еврейскими учеными. В XIV в. король Каталонии Педро III имел астрономические таблицы, составленные еврейским астрономом Якубом Карсоно. Изобретение или во всяком случае введение в обращение поперечного жезла приписывалось Леви бен Герсону из Прованса. Закуто, который преподавал в университете в Саламанке [в 1473—1478 гг.], опубликовал «вечный альманах» на еврейском языке. Один из его учеников, Йозе Вицинхо, придворный физик короля Португалии Жоао II, был членом «Хунты дос Математикос», научной коллегии по делам мореплавания. Для португальских мореплавателей эта Хунта публиковала *регимьенто*[5], содержащие инструкции для обращения с инструментами, и морской ежегодник с таблицами и объяснением хода вычислений. Таким образом, арабская астрономия содействовала открытиям португальцев. Куда бы ни отправлялись они в путешествия — на юг или в Индию, их лоцманы измеряли астролябией солнечные высоты для того, чтобы вывести широту места при помощи склонения Солнца по своим таблицам. Поперечным жезлом они, очевидно, не пользовались.

В это время начали использоваться также и работы немецких астрономов, особенно «Эфемериды» Региомонтана. Их, так же как и альманах Закуто, использовал Колумб во время своих путешествий. Именно предсказанное в них лунное затмение 29 февраля 1504 г. он использовал в опасном положении для того, чтобы склонить к уступкам местных жителей. Вероятно, Мартин Бегем из Нюрнберга, географ и купец из Азоры, сотрудничал с Хунтой по вопросу о введении в Португалии достижений немецкой астрономии.

И наоборот, практика мореплавания теперь значительно усиливала интерес к астрономии. Моряки уже познакомились с шарообразностью Земли на собственном опыте. Вместе с неведомыми областями южного полушария Земли взору человека открылись и неизвестные ранее звезды и созвездия. [Колумб в одном из писем в Испанию говорил о «Большой Медведице южного неба», которую он видел на небе,— вероятно, те образующие четырехугольник яркие звезды, из которых христианские фанатики составили позднее Южный Крест и которые Данте упоминал как «четыре яркие звезды», обнаруженные им с противопо-

ложной стороны Земли. Астрономия в это время была не теоретическим учением университетских профессоров, а живой наукой. Практические вопросы, касающиеся звезд и их движений, раньше чем все другие области знания, привлекли внимание европейцев][6].

Но интерес к астрологии был более общим, чем эти практические виды деятельности. Средневековое учение о том, что из звезд исходили силы, определявшие земные события, теперь распространилось при помощи альманахов во всех слоях населения. Подобные календари и альманахи печатались в огромных количествах и содержали в себе, помимо таких небесных явлений, как затмения и соединения планет, также предсказания погоды, стихийных бедствий и благоприятных и неблагоприятных моментов для различных предприятий, вплоть до кровопусканий[7].

Особое внимание уделялось соединениям двух самых могущественных планет — Юпитера и Сатурна, происходящим через 20 лет, причем каждое последующее случается на долготе, отступающей назад на 117°. Таким образом, эти соединения наблюдались поочередно в трех зодиакальных знаках, до тех пор пока, медленно двигаясь, не доходили через два столетия до следующей триады знаков. В 1488 г. знаменитый астролог Иоган Лихтенбергер писал: «Следует уделить внимание важному созвездию влиятельных планет Юпитера и Сатурна, соединение и совпадение которых угрожает ужасными вещами и предвещает много бедствий в будущем... и для этого ужасного соединения предназначается ужасное место в приносящем несчастье Скорпионе»[8]. Эти слова относились к соединению 1484 г., которое, как предполагалось, распространяло свое влияние на 20 лет. За ним следовали соединение в Раке в 1504 г. и в Рыбах в 1524 г. Вера в то, что эти соединения должны сопровождаться опустошительными потопами, произвела панику в Европе; на эту тему известны 133 сочинения 43 авторов. Те времена были полны страха и ужаса, и лишь очень немногие ученые, такие как итальянский гуманист Пико делла Мирандола, боролись против астрологии как суеверия. В предисловии к книге Лихтенбергера, напечатанной в Виттенберге, Мартин Лютер писал: «Конечно, нет недостатка в знамениях на небе и на Земле; они являются делом бога и ангелов, предвещающих и угрожающих безбожным правителям и их странам, и имеют значение»[9].

XVI в. был эпохой великих социальных и духовных переворотов. То, что постепенно развивалось в предшествующие столетия — растущие силы буржуазии, укрепление монархической власти, соперничество в борьбе за нее и оппозиция церкви,— все явилось результатом разрыва с прошлым. Открытие мореплавателями всей Земли освободило умы людей от старых, узких представлений о мире, но также благодаря притоку американского золота и серебра вызвало рост цен и обнищание, приводившее к восстаниям крестьян и городских ремесленников. Новые представления о жизни выражались в новых религиозных системах — лютеранстве, кальвинизме и в обновленном католицизме. Их борьба хаотически переплеталась с борьбой между принцами, вельможами и буржуазией в ряде политических и религиозных войн. Исчезла спокойная уверенность, которую раньше церковь помогала сохранять при помощи своего неоспоримого авторитета; были расшатаны основы жизни. В этих сложных условиях единственное спасение от неустойчивой и беспокойной действительности человек находил в убеждении о существовании нерушимой связи между всеми земными событиями и звездами, которые имели неизменное и поддававшееся вычислению движение. Принцы, большие и малые, использовали «математиков» главным образом как советников-астрологов (слово *математика* означало в то время «астрология»). Муниципальные и провинциальные советы также назначали математиков не только для того, чтобы обучать в школах сыновей богатых граждан и знати, но и для составления альманахов для крестьян и горожан, содержащих предсказания погоды и политических событий.

В XV и XVI вв. астрономия стояла в центре практической жизни и занимала внимание человека больше, чем любая другая наука. Мысли задерживались главным образом на звездах; на науку о небесных телах прежде всего направлялась изобретательность и инициатива человеческого ума.

Таким образом, не удивительно, что в те дни люди больше не ограничивались почтительным повторением взглядов древних, а прокладывали новые дороги.

ГЛАВА 18

КОПЕРНИК

Не должно казаться противоестественным, что различные люди последовательно выдвигали разные стороны нового мировоззрения *). Так, например, греки давали только объяснение вращения небесной сферы вращением Земли, а позднее в центре внимания оказалось годичное обращение Земли. Действительно, старая система мира, основанная на предположении о неподвижности Земли, была вполне законченной и представлялась каждому как единое неделимое целое. Новая система мира для того, чтобы заменить собой прежнюю, должна была возникнуть также как внутренне единое целое. Это и сделал Николай Коперник.

Коперник родился в 1473 г. в Торне, теперь польский город Торунь [1]. Начав ознакомление с астрономией (тесно связанной в то время с астрологией) в Краковском университете, юный Коперник в 1496 г. был послан в Италию для занятий юриспруденцией, а затем снова в 1501 г.— для изучения медицины. Здесь, изучая астрономию у Доменико Марио Новарры, родом из Феррары, он близко соприкоснулся с бьющей ключом жизнью эпохи Возрождения. Он изучил греческий язык и познакомился с тем, что сообщали греческие и латинские источники о мнениях некоторых античных философов. Эти высказывания, несомненно, разбудили или усилили его идею об ином строении мира. Позднее, посвящая свой труд папе Павлу III, он упомянул в качестве источников, которые дали ему смелость разработать свою новую теорию, следующих ученых: Никетаса, который, по Цицерону, заставил Землю двигаться; пифагорейца Филолая, который заставил Землю описывать суточную орбиту вокруг центрального огня, и Гераклида и Экфанта, которые заставили ее вращаться вокруг своей оси.

Возвратившись в 1503 г. в Польшу, где его дядя, епископ Вармии Лука Ватценроде, выхлопотал ему место каноника в капитуле Фромборка [2], он вскоре (около 1515 г.) [3] сформулировал свои идеи в «Commentariolus'e» («кратком объяснении»), который послал ряду друзей и астрономов. Основы новой системы мира были

*) Гелиоцентризма. (*Прим. ред.*)

кратко и выразительно установлены в семи тезисах: 1) не существует единого центра для всех небесных орбит и сфер; 2) центр Земли является не центром мира, а лишь центром тяжести и лунной орбиты; 3) все орбиты окружают Солнце, которое поэтому находится в середине всех них, так что центр мира расположен около Солнца; 4) отношение расстояний Солнца и Земли к высоте небесного свода меньше, чем отношение радиуса Земли к расстоянию ее от Солнца, так что по сравнению с высотой небесного свода оно совершенно неощутимо; 5) то, что нам представляется движениями на небесном своде, возникает из-за движения не его самого, а Земли; следовательно, Земля со своими ближайшими элементами вращается суточным движением между полюсами, сохраняющими свое неизменное направление в пространстве, тогда как небесный свод и последнее небо неподвижны; 6) то, что кажется нам движением относительно Солнца, обусловлено движением не его самого, а Земли и ее сферы, с которой мы обращаемся вокруг Солнца точно так же, как любая другая планета; таким образом Земля совершает несколько движений; 7) то, что проявляется как прямое попятное движение планет, происходит не из-за движения их самих, а Земли; следовательно, одно только движение Земли позволяет объяснить много различных явлений.



Рис. 21. Николай Коперник.

Таким образом, Коперник уже был уверен в основах своей новой системы мира. Но во все последующие годы, в моменты досуга от исполнения официальных обязанностей и участия в административном и политическом управлении епархией, его занимала главная задача. Эта задача состояла в том, чтобы получить на основании наблюдений точный численный вывод орбит планет, как основы для предвычисления. Так можно было бы удовлетворить практические нужды астрономов, поскольку теперь ошибки Альфонсинских таблиц становились все более заметными. Тогда его труд мог бы заменить собою работу Птолемея. Однако и после завершения всего этого исследования он в течение многих лет не

решался его публиковать. Хотя влиятельные друзья из среды духовенства — Тидеман Гизе, епископ Кульмский и кардинал Шенберг из Капуа — сильно ободрили его, он откладывал публикование потому, что предвидел оппозицию, вызванную предрассудком, а по своему характеру он не был склонен к борьбе. Недостаток горячего усердия в борьбе против новых лютеранских доктрин уже делал его подозрительным в глазах клерикальных фанатиков. Он поборол свою нерешительность лишь тогда, когда молодой математик из Виттенберга, Георг Иоахим, прозванный «Ретик» (т. е. «родом из Гризонса») [4], посетил его в 1539 г. для того, чтобы обучиться его теории, и около 1540 г. дал восторженный ее обзор в «Narratio prima» («Первом повествовании»).

Коперник поручил Ретику напечатать рукопись «De Revolutionibus, libri VI» («Шесть книг об обращениях») [5] в Нюрнберге; она вышла в 1543 г.— в год его смерти. К этой первой публикации лютеранский священник этого города Осиандер, который наблюдал за печатанием, добавил (вероятно, для того, чтобы ответить на возражения виттенбергских теологов) анонимное предисловие, озаглавленное: «О гипотезах этого сочинения». Расширенное им же название книги: «De Revolutionibus orbium coelestium» («Об обращениях небесных тел») — также могло внушить мысль о том, что в эти обращения нет необходимости включать Землю. Только много лет спустя стало известно, что эти добавления сделал не сам Коперник.

В «De Revolutionibus....» мы можем заметить три различных аспекта, отличающих ее от книги Птолемея и других книг по астрономии, написанных после Птолемея. Эти аспекты таковы: гелиоцентрическая система мира, введение новых численных значений и новый механизм для представления деталей планетных движений.

Прежде всего была изложена основа новой системы мира, и приведены аргументы против Птолемея (в первой книге). Коперник объяснял, что Земля с ее морями имеет форму шара и что движение небесных тел происходит равномерно и непрерывно по круговым орбитам или складывается из круговых движений. Подвижность сферы состояла в ее вращении вокруг оси по кругу, не имеющему ни начала, ни конца. Хотя небесные тела характеризуются различными отличающимися друг от друга движениями, их движения должны быть круговыми и равномерными или состоящими из круговых движений; только в этом случае можно получить правильную повторяемость явлений через фиксированные периоды. Так как разум отказывается допускать нерегулярности в том, что расположено в наилучшем порядке, мы должны принять, что равномерные движения кажутся нам неравномерными из-за различия полюсов или из-за того, что Земля находит-

ся не в центре кругов. Конечно, большинство авторов предполагают, что Земля должна покоиться в середине мира, и считают другие точки зрения смешными; но при более тщательном размышлении оказывается, что вопрос еще не решен, поскольку

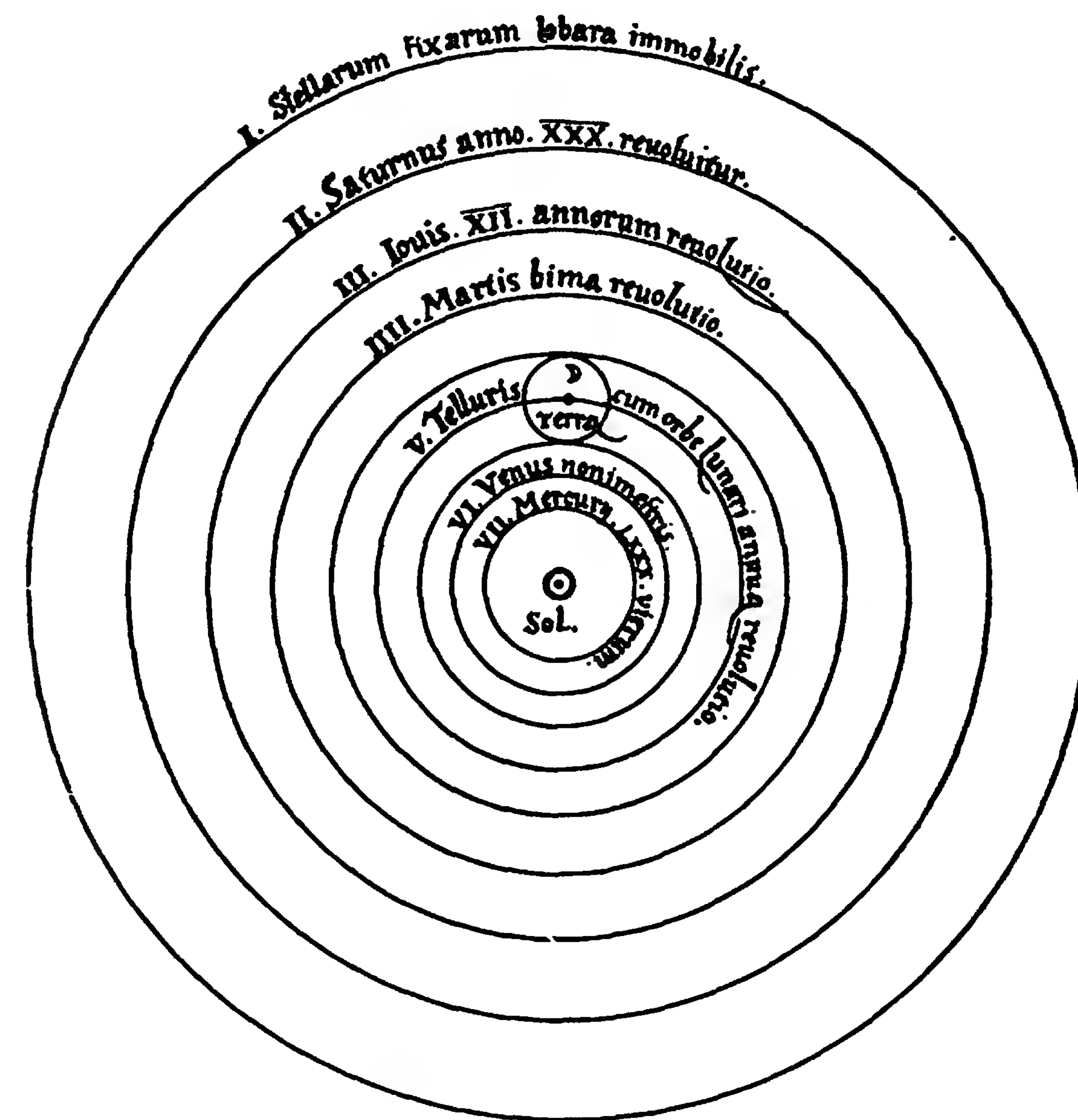


Рис. 22. Солнечная система по Копернику.

каждое наблюдаемое изменение положения происходит или от движения самого объекта, или от движения наблюдателя, или же обоих вместе. Если предположить, что Земля движется, то это должно проявиться, хотя и в противоположном направлении, во всем остальном, как если бы эти явления вытекали из ее движения; и это касается главным образом суточного движения. Так как небо заключает в себе все, то невозможно, чтобы движение не было бы скорее присуще тому, что в нем содержится, чем тому, что все в себе заключает. Если принять, что Земля находится не в

центре мира, а на небольшом (по сравнению со сферой неподвижных звезд) расстоянии от него, которое сравнимо с орбитами планет, то можно было бы, вероятно, указать причину видимых неравенств в движениях планет.

Древние философы пытались показать, что Земля покоится в центре мира потому, что всякая тяжелая материя стремится двигаться к центру мира и остается там в состоянии покоя. По Аристотелю земля и вода движутся вниз, воздух и огонь — вверх, тогда как небесные тела обращаются по окружностям. Птолемей говорит, что вращение Земли должно быть противоположно этому, а при столь значительной скорости вращения все разорвалось бы на куски. Тела, падающие вертикально вниз, не смогли бы достигнуть предназначенного им места, потому что оно было бы унесено из-под них с большой скоростью; мы всегда видели бы облака и все, взвешенное в воздухе, движущимся на запад.

Однако, если допустить вращение Земли, то можно определенно сказать, что это естественное, а не насильственное движение, что оно происходит естественно, без внешнего насилия, и остается в полном порядке. Почему же Птолемей не боялся, что то же самое может произойти с небом, которое, по его мнению, должно вращаться со значительно большей скоростью? Так как Земля — шар, заключенный между своими полюсами, почему же ей не свойственно движение, которое более естественно для сферы, чем предположение, что движется весь мир, границы которого неизвестны? Бóльшая часть воздуха, в котором плавают облака, увлекается вместе с Землей при ее движении, так что облака кажутся нам покоящимися, в то время как наиболее удаленные области воздуха, в которых видны кометы, свободны от этого движения. Движение падающих или поднимающихся предметов — всегда двойное относительно вселенной, состоящее из прямолинейных и круговых движений. Простому телу, находящемуся на своем месте, свойственно простое движение, и это — круговое движение, благодаря которому тело кажется покоящимся. Когда же оно смещается со своего естественного места, это нарушает естественный порядок и дает начало ускоренному прямолинейному движению. К этому следует добавить, что состояние неподвижности считается более благородным и божественным, чем состояние движения и переменности; следовательно, оно скорее свойственно всему миру в целом, чем Земле.

Теперь, хотя и нет возражений против движения Земли, мы должны исследовать, имеет ли она другие движения и можно ли ее рассматривать как планету. То, что она расположена не в центре всех круговых движений, проявляется в неравенствах планетных движений и переменности планетных расстояний, которые невозможно объяснить при помощи концентрических окружностей, описанных вокруг Земли. Кроме центра тяжести Земли существуют и другие центры; тяжесть — есть тенденция родственных частиц объединяться в сферу. Вероятно, что на Солнце, Луне и планетах существует та же самая тенденция, придающая им сферическую форму, в то время как они описывают свои круговые орбиты. Если Земля также имеет другие движения, их следует искать во внешних движениях, имеющих годичный период. Если мы предположим, что Солнце неподвижно, и передадим его годичное движение Земле, то восходы и заходы звезд, при которых они становятся то вечерними, то утренними звездами, будут происходить точно таким же образом, а стояния, так же как прямые и попятные движения планет, будут казаться движениями, придаваемыми им самой Землей. Тогда мы должны предположить, что Солнце находится в середине мира.

Последовательность планет всегда выводилась из их периодов обращения: Сатурн, Юпитер, Марс. Старый спор о том, располагаются ли Меркурий и Венера над Солнцем или под ним, теперь решался таким образом, что обе планеты обращаются вокруг Солнца, как писал еще в древности Марцианус Капелла. Для других трех планет Солнце также должно быть центром, потому что в противостоянии, когда они оказываются наиболее яркими, они подходят ближе к нам, а в соединении — они более слабые и удаленные. Между двумя этими группами орбит расположена Земля с Луной и всем, что находится под ней. Снаружи расположена наиболее высокая и отдаленная сфера неподвижных звезд — неподвижная и такая большая, что размеры земной орбиты пренебрежимо малы по сравнению с ней. [Некоторые полагали, что эта сфера имеет еще небольшое собственное движение, но мы дадим этому лучшее объяснение.] Затем следуют Сатурн, Юпитер и Марс, завершающие одно обращение по своим орбитам за 30, 12 и 2 года соответственно; затем идут Земля — 1 год, Венера — 7 месяцев и Меркурий — 80 дней. В середине их всех находится Солнце. «Действительно, в таком великолепнейшем храме кто мог бы поместить этот светильник в другом и лучшем месте, как не в том, откуда он может одновременно все освещать... Конечно, именно так Солнце, как бы восседая на царском троне, правит обходящей вокруг него семьей светил» [6].

Таковы аргументы (переданные в основном собственными словами Коперника, но в значительно сокращенном виде), которые он привел в пользу своей новой системы. Его доводы против Птолемея были главным образом философскими, присущими образу мышления, унаследованному от древнего мира. [Однако бóльшая простота и гармония придавали силу этой новой картине мира] [7].

Новая теория не была результатом опыта или наблюдения; она не содержала новых эмпирических фактов, которые заставили бы

человека отказаться от прежних представлений. Наблюдаемые явления должны были быть одними и теми же как в случае, если бы Земля покоилась, так и в случае ее движения. Такое же двойственное объяснение можно было предложить и для других данных. Так, или Солнцу надо было придать годичный круг, или же Меркурию, Венере и внешним планетам добавить по годичному эпициклу.

[Сила и величие Коперника заключались в независимости его ума, в широте кругозора, в его умении чувствовать гармонию и красоту в строении мира, в смелости мышления, приведшего его к исключительным следствиям из разработанной им системы. А следствия эти были огромны. Хотя теперь не осталось ни одной покоящейся небесной сферы, но, кроме того, они стали мнимыми и отодвинулись в необозримую даль. Не было больше необходимости в неподвижных звездах, связанных или как бы пришитых к этой сфере; перед человечеством начала открываться неизмеримая бесконечность пространства][8]. К человеческому воображению было предъявлено еще более тяжелое требование: самая твердая основа его существования — Земля у него под ногами — стала вращаться с бешеной скоростью, которую невозможно было представить себе или обнаружить непосредственным ощущением. Коперник совершил полный переворот в мировоззрении, которое по мере распространения его новой истинной системы все более стало определять мышление современного человека.

Обновление космической теории можно было бы осуществить простым копированием птолемеевой системы со всеми ее числами и измерениями, лишь дав им новые названия: то, что называлось «деферентом» внешней планеты, теперь называлось бы ее «реальной орбитой». Но Коперник пересмотрел также и птолемеевские числа и измерения — это был второй аспект его работы. Он использовал новые наблюдения, выполненные главным образом им самим, для вывода орбит с более точными периодами обращения, при этом он вычислил новые таблицы. Таким образом он создал новое руководство по астрономии, способное заменить собой руководство Птолемея во всех отношениях.

Более того, птолемеева теория не могла бы удовлетворить Коперника в объяснении переменной орбитальной скорости планет. Его фундаментальным принципом было то, что все движения небесных тел состоят из совершенных равномерных движений по окружностям. Коперник считал недопустимым пренебрегать этим принципом так, как фактически сделал это Птолемей, введя «уравнивающую точку» (эквант). Коперник писал: «Несомненно, что равномерное движение эпицикла должно происходить относительно... центра его деферента и обращение планеты — относительно линии.., проведенной через нее и центр эпицикла. Однако здесь (как и в теории экванта.— *А. Паннекук*) допускали, что круговое движение могло происходить равномерно вокруг иного, а не своего собственного центра... Это и подобные соображения привели нас к заключению о движении Земли и такому, при котором сохранялись бы принцип равномерности и другие основы науки...»[9].

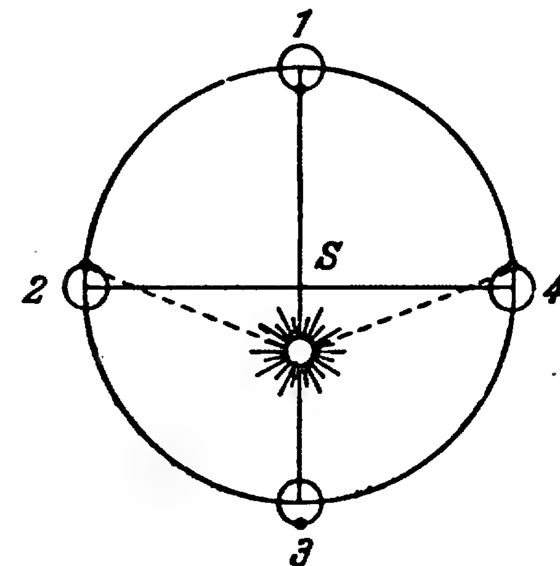


Рис. 23.

Таков был третий аспект, в котором работа Коперника отличалась от птолемеевской: он заменил эквант новым и более остроумным механизмом. Он предположил, что планета движется по малюсенькому эпициклу, центр которого равномерно описывает эксцентрический круг с эксцентриситетом, втрое бо́льшим радиуса эпицикла (рис. 23). Таким образом, от перигелия (внизу) до афелия (вверху) изменение расстояния определяется эксцентриситетом, уменьшающимся с радиусом эпицикла, тогда как при удалении от него на 90° (при боковом смещении) он оказывается равным их сумме, т. е. эффект будет удвоенным. То, что Птолемей получал с эквантом, расположенным на расстоянии *e* по другую сторону от центра деферента, Коперник достиг, поместив Солнце на расстоянии $1^1/_2$ *e* от центра и придав планете движение по маленькому эпициклу с радиусом в $^1/_2$ *e*.

Следуя этому принципу, Коперник заново перевычислил данные Птолемея для противостояния внешних планет — Сатурна, Юпитера и Марса — так же, как и свои собственные наблюдения трех противостояний тех же планет, выполненные между 1512 и 1529 годами. По Птолемею это было противостояние не с действительным, а со средним Солнцем. В прежней системе это было неизбежно; в новой же системе в этом не было необходимости.

[После смелого заявления о владычестве Солнца, сделанного Коперником в первой главе, странно видеть теперь, что центром солнечной системы, вокруг которого описывали свои орбиты планеты, было для него не само Солнце, а центр земной орбиты.

Вычисления проводились точно так же, как у Птолемея — методом последовательных приближений. Сначала Коперник пренебрегал малым эпициклом, затем, взяв четвертую часть полученного расстояния, приравнивал его 2 *e* и брал его в качестве радиуса эпицикла. Долготы, полученные из наблюдений, исправлялись за этот эффект. Для античных наблюдений он, конечно,

пришел к тем же самым численным результатам, что и Птолемей, но в новой форме, где прежний полный эксцентриситет 2 *e* был разделен на две части: $1^1/_2$ *e* и $^1/_2$ *e*.]

На основании своих новых наблюдений он нашел для Сатурна эксцентриситет, равный 0,0854, а радиус эпицикла 0,0285, в целом 0,1139 — значение, точно совпадающее, как он отметил, с птолемеевым эксцентриситетом в $6^5/_6$ шестидесятых, равных 0,1139. Долгота афелия 240°21′ возросла на 14° за четырнадцать протекших столетий. Для Юпитера его сбила ошибка в вычислении [10], так что он принял птолемеевское значение полного эксцентриситета 0,0917 и с его помощью вывел долготу афелия в 159°, что на $4^1/_2$° опережало значение долготы у Птолемея. Для Марса он нашел эксцентриситет 0,1460 вместо 0,1500, что соответствовало бы птолемеевскому значению 0,200, а афелий передвинул на 10°50′. Коперник писал: «Также расстояние между центрами мы нашли меньшим на 40 таких частей, каких в радиусе эксцентра дается 10 000, не потому, что ошиблись Птолемей или мы, а как очевидное доказательство того, что центр великого круга Земли приблизился к центру орбиты Марса, тогда как Солнце оставалось все это время неподвижным» [11]. Если учесть, что это различие соответствует лишь 14′ по долготе в первом противостоянии, то возникает вопрос — не слишком ли он доверял реальности таких малых величин?

Для Венеры и Меркурия, названных теперь «внутренними планетами», новая система мира могла преодолеть многие из птолемеевых трудностей, заставляя планету просто описывать небольшую эксцентрическую окружность внутри большей окружности Земли. [Правда, из эксцентрического эпицикла трудно было сделать эксцентрическую планетную орбиту, как это здесь требовалось.] Но, настаивая на центре земной орбиты вместо того, чтобы сделать само Солнце центром мира, Коперник усложнил свою задачу, а вместе с тем и всю систему больше, чем это было необходимо. Он так близко следовал Птолемею, что изложение Коперника часто кажется копией его великого предшественника, несколько отличной по языку. Коперник заставил центр орбиты Венеры описывать небольшую окружность за полгода. Таким образом, положение Венеры определялось положением Земли на своей орбите; орбита Меркурия также зависела от земной орбиты. То, что другие планеты при своем истинном движении должны были бы зависеть от Земли, производит странное впечатление; здесь оставалось что-то от старых геоцентрических идей [но при этом он не добился своей основной цели].

Для того чтобы вывести точные результаты для орбит этих нижних планет, так же как и для верхних, необходимы были новые наблюдения, кроме античных данных. Для Венеры он мог

использовать свои собственные наблюдения, но в отношении Меркурия это ему не удалось. «Такой путь исследования движения этой планеты указали нам древние, но им помогало более ясное небо, так как Нил (как передают) не выделяет таких испарений, как у нас Висла. Нам же, обитающим в более суровой стране, природа отказала в этих удобствах; у нас реже бывает спокойный воздух и, кроме того, вследствие большой наклонности сферы реже можно видеть Меркурий... Вследствие этого много затруднений и работы доставила нам эта планета при исследовании ее блужданий. Поэтому мы заимствовали три положения планеты из тщательно наблюдавшихся в Нюрнберге» [12]. Из этих наблюдений одно было выполнено Вальтером в 1491 г., а два — Шонером в 1504 г.

В отношении наклонов планетных орбит Коперник имел преимущество перед Птолемеем, поскольку он определял только один наклон для каждой планеты. Однако он не воспользовался этим преимуществом. Он принял данные, положенные Птолемеем в основу своих таблиц, и ему пришлось допустить, что этот наклон переменен. «Таким образом выяснилось, что наклон небесных орбит не будет вполне определенным, а меняется некоторым колебательным движением, соразмерным с обращениями Земли... (т. е. по земной орбите.— *Н. Н.*)» [13]. С Венерой и Меркурием дело обстояло еще сложнее, чем у Птолемея. В своей теории планет [так же, как и долгот внутренних планет], Коперник принял птолемееву теорию почти буквально, со всеми ее недостатками, лишь выразив ее другим способом, для того чтобы приспособить ее к гелиоцентрической основе. Все это было следствием его отношения к своему великому предшественнику и неоправданного доверия к птолемеевым наблюдательным данным и теоретическим выводам.

Однако для Луны он смог при помощи своей системы круговых движений освободить данные Птолемея от ошибочного представления о том, что в квадратурах Луна должна была бы время от времени оказываться вдвое ближе к Земле, чем в полнолунии. Для того чтобы объяснить свое «второе неравенство» (эвекцию), Птолемей заставил весь лунный эпицикл приближаться к Земле и отступать от нее. Коперник достиг той же самой цели, заставив Луну дважды в месяц описывать небольшую окружность, вследствие чего расстояние до Луны изменялось лишь на $^1/_{10}$.

В его системе мира были и большие усложнения. Птолемей давал значение прецессии, равное 1° за 100 лет, что было выведено на основании изменения долгот звезд со времен Гиппарха. Позднее было обнаружено уже более быстрое смещение, и Коперник предполагал, как это делали арабские астрономы, существование трепидации — чередования более медленного и более

быстрого предварения равноденствий. Как Сабит, он связывал это чередование с постепенным уменьшением наклона эклиптики, отчетливо выявленным измерениями, проведенными со времен античности (Птолемей — 23°51⅓′; Арзахель в 1069 г.— 23°34′; его собственные измерения в 1525 г.— 23°28½′); на основании этих данных наклон даже сам должен был быть переменным. Коперник объединил все эти изменения в колебательное движение земной оси, которой он уже дал движение. Идея древних о том, что в случае орбитального обращения тела некая связь скрепляет его с центром, должна была бы приводить к предположению, что в таком простом случае движения ось сохраняет постоянный наклон в пространстве относительно центрального тела. Для объяснения того факта, что земная ось сохраняет свое положение в пространстве, Коперник должен был придать ей годичное конусообразное движение, такое, какое совершает быстро вращающийся волчок. Он назвал его третьим движением Земли. Прецессия могла бы получить простое объяснение, если взять период конического движения несколько меньшим, чем период орбитального обращения, так что каждый год происходило бы небольшое прецессионное смещение оси. Теперь Коперник наложил на эту систему другое колебание с периодом в 3400 лет для того, чтобы восполнить вариации в предварении равноденствий и наклона. В результате длина тропического года стала у него периодически изменяться. Вторым следствием было то, что Коперник, из-за неравенств в движении точки весеннего равноденствия, должен был отсчитывать свои долготы звезд от произвольно выбранной звезды (он взял первую звезду Овна — γ Arietis) и свести птолемеев каталог к этому нуль-пункту.

Такое же чрезмерное доверие к наблюдениям и античным данным внесло и другое усложнение. Так как у Птолемея эксцентриситет солнечной орбиты был получен равным 1/24, а поздние авторы нашли 1/30 и другие апогеи, Коперник предположил, что эксцентриситет и апогей неправильно изменяются. Он представлял их, полагая, что центр земной орбиты за те же самые 3400 лет описывает относительно Солнца небольшую окружность с радиусом 0,0048, предполагая, что эксцентриситет изменяется от 0,0414 до 0,0318, а апогей колеблется на 7½° в обе стороны. «...Если кто-нибудь стал бы предполагать центр годичного обращения неподвижным, как центр мира, а Солнце — движимым двумя движениями, подобными и равными тем, которые мы показали для центра эксцентрического круга, то произойдут те же самые видимые явления, что и выше, и получатся те же самые числа и тот же вывод... Вследствие этого все же останется некоторое сомнение относительно центра мира, будет ли он, как мы вначале сказали..., в Солнце или около Солнца» [14].

Таким образом новое строение мира, несмотря на его простоту в общих чертах, все еще было исключительно сложным в деталях. Это на первый взгляд придает книге Коперника странный и двусмысленный характер. В первых главах провозглашается и объясняется новая система мира, которая разрушила основы астрономии, произвела переворот в науке и мировоззрении и на протяжении многих столетий сделала имя Коперника знаменем и призывом к борьбе за просвещение и духовную свободу. Затем, изучая следующие главы, мы полностью переносимся в античный мир: на каждой странице его изложение оказывается почти робким приспособлением к птолемееву примеру. Нигде нет ни широты новой эры ни гордой дерзости новатора, ни признаков нового духа научного исследования!

Однако в действительности контраст не так велик. Первые главы также дышат духом античности. Мы уже видели это в доводах Коперника о движении Земли; они целиком принадлежат древней философии. Коперник считал свою работу не разрывом с классическими представлениями о мире, а их продолжением и ссылался на своих предшественников в древности. Из-за желания изучать что-либо, опираясь на почтенные авторитеты, началась продолжавшаяся в течение многих лет борьба между сторонниками и противниками так называемых «пифагорейской» и «птолемеевой» систем мира. Все это оставалось в пределах древней науки; Коперник полностью был сыном эпохи Возрождения.

Астрономы XVI в. рассматривали внесенное Коперником добавление сложных круговых движений как попытки улучшения прежней теории. Они высоко ценили Коперника как одного из передовых астрономов, человека, который уточнил детали теории Птолемея и дал новые численные значения. Гелиоцентрическая же система Коперника считалась лишь остроумной теорией, но не принималась как истинная. Его численные значения составили основу для новых астрономических таблиц, вычисленных виттенбергским математиком Эразмом Рейнгольдом [ближайшим коллегой Ретика]. Эти таблицы, которые Рейнгольд в честь своего покровителя герцога Пруссии назвал «Прусскими таблицами», вскоре заменили собой «Альфонсинские таблицы», употреблявшиеся до того времени.

ГЛАВА 19

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Развитие науки состоит не только в развитии идей и теоретических объяснений, но также и в улучшении практических методов. Практическая работа астронома двойная: наблюдение и вычисление. Из отсчитываемых на инструментах чисел, которые являются непосредственным результатом наблюдения, должны быть при помощи вычисления выведены искомые значения астрономических величин. Таким образом в XV и XVI вв. создание математического аппарата было важной частью научного прогресса, так же как и конструирование технических приборов и инструментов для наблюдения.

Уже греческая геометрия учила, как по данным линиям и углам можно вычислять другие линии и углы. Для практического применения Птолемей вычислил и включил в свое великое сочинение таблицу хорд. Для всех углов или дуг, возрастающих через $^1/_2$° от 0° до 180°, длина хорды давалась в шестидесятых долях диаметра. Так как синус угла есть половина хорды, относящейся к удвоенному углу, то его таблица соответствует таблице синусов для углов, возрастающих через $^1/_4$° от 0° до 90°. Затем арабские астрономы вывели удобные соотношения между сторонами и углами треугольника, которые известны нам как «тригонометрические формулы».

Вычисление означает практическое обращение с числами и цифрами. Греческая система цифр была в высшей степени неудобной для этой цели. Греческие цифры состояли из 27 букв алфавита: первые 9 для единиц от 1 до 9, следующие для десятков от 10 до 90, остальные для сотен от 100 до 900, ставившиеся просто одна за другой; для чисел от 1000 до 1 000 000 использовались те же самые буквы.

Десятичные дроби, конечно, не были известны; однако часто встречались некоторые простые дроби, такие как $^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_3$, $^3/_4$, которые имели даже свои особые обозначения. Значительно более употребительной была вавилонская шестидесятеричная система, где величины, в которых выражались числа от 1 до 59, были последовательными степенями дроби $^1/_{60}$. Вот почему и Птолемей

выражал хорды своей таблицы в шестидесятых долях радиуса; три числа обеспечивала точность до $(^1/_{60})^3 = {}^1/_{216\,000}$.

Западная Европа в средние века унаследовала неуклюжую римскую систему цифр, столь мало пригодную для практических расчетов, что в торговле приходилось всегда пользоваться счетами или счетными досками. Постепенно в Европу из арабского мира проникла индийская система цифр со значением места и нулем для пустых мест. Итальянские купцы в своей торговле с Востоком смогли оценить эту систему, хотя сначала она не вызывала доверия из-за того, что малоискусные торговцы использовали ее в качестве нечестного секретного искусства. В начале XIII в. появилось руководство много путешествовавшего Леонардо из Пизы, прозванного Фибоначчи, т. е. «сын Боначчи»: «Книга счета», содержавшее инструкции для расчетов с арабскими цифрами, которое употреблялось в течение многих столетий. Астрономы, переводившие арабские сочинения, конечно, переписывали таблицы с их арабскими цифрами, хотя с самого начала в рукописях ателяровского перевода они заменяли их римскими цифрами [1].

Еще в XV в. немецкие торговые клерки ездили в Венецию для изучения новой системы счета и нового («итальянского») счетоводства. В XVI в. деление чисел все еще считали таким сложным искусством, что Меланхтон в Виттенбергском университете должен был читать специальные лекции по этому предмету. В книге Коперника все числа в тексте даны в римских цифрах.

С первым подъемом астрономии в Западной Европе Пурбах начал вычисление более обширной и точной таблицы синусов для углов, возрастающих через 10′; синусы давались в виде семизначных цифр, радиус полагался равным 6 миллионам. Региомонтан расширил эту таблицу, интерполировав ее до углов, возрастающих через 1′, так что для любого угла (измерявшегося в градусах и минутах) синус можно было брать непосредственно. Он вычислил также таблицу тангенсов как гониометрических величин, которые были совершенно необходимы для измерений с «посохом Якова», но, к сожалению, таблица давала значения тангенсов для углов, возраставших сразу на 1°. В работе по плоской и сферической тригонометрии, впервые напечатанной только в 1561 г., через много лет после его смерти, Пурбах вывел многие формулы для вычисления линий и углов.

Хотя пределы и точность этих таблиц вполне удовлетворяли астрономическую практику того времени, математики непрерывно продолжали совершенствовать таблицы, предвосхищая таким образом их применение в будущем. Ретик (1514—1576) начал в 1540 г. вычисление синусов, тангенсов и секансов до пятнадцати знаков (при печатании впоследствии срезанных до десяти) для

углов, возрастающих через 10″. Когда он умер, эти таблицы не были еще готовы; их закончил и опубликовал в 1596 г. его ученик М. В. Ото. Они явились основой для многих последующих таблиц, причем позднейшие вычислители исправили некоторые вкравшиеся в них ошибки.

В то же время шло и дальнейшее развитие теории. Система соотношений между гониометрическими функциями и функциями из формул для вычисления всех элементов треугольников превратилась в законченную тригонометрию. Это дело было начато еще Ретиком и завершено проницательным математиком Виетой (1540—1603). Так тригонометрия превратилась в удобный и полезный аппарат, с которым могли работать и астрономы. Наиболее важными были сложные формулы для решения сферических треугольников, которые служили для вывода величин дуг и углов, измеряемых на небесной сфере. Раньше для решения любых треугольников их сначала разбивали на прямоугольные треугольники, чтобы к каждому из них применить более простые соотношения. Теперь были выведены общие формулы для косоугольных треугольников, которые получили широкое применение. Они были необходимы прежде всего для старой практической задачи измерения солнечных высот для определения времени. В XIII в. Сакробоско предложил заимствованный у арабских астрономов метод снятия отсчета искомых величин с линий и кругов, выгравированных на оборотной стороне астролябии. Но этот метод не был точен и применялся только в тех случаях, где не требовалась большая точность. Небесные глобусы также применялись для решения сферических треугольников, но точность таких отсчетов была ограничена. Позднее Вальтер определял точный момент наблюдаемого явления по измерению высоты Солнца; при этом были необходимы точные формулы.

Существовали также и другие приложения тригонометрии. Положения планет и неподвижных звезд в каталогах давались в эклиптикальных координатах — долготе и широте. Эти координаты могли бы отсчитываться на армиллах — сложных устройствах, состоящих из множества колец, вращающихся одно в другом, которые сначала следовало привести в исходное положение. При этом результаты получались менее точные, чем в случае более простой конструкции. В XVI в. утвердилось убеждение в том, что лучше было бы измерять экваториальные координаты — прямое восхождение и склонение — при помощи инструментов более простой конструкции, дающих большую точность. Тогда долготу и широту можно было вывести из экваториальных координат при помощи тригонометрических формул. Так астрономическая практика привела тригонометрию к непосредственным, весьма точным измерениям, для которых приходилось подбирать инструменты

простой конструкции. Остальные величины получались при помощи вычислений.

Простейшим способом для определения положения планеты было измерение ее расстояния от некоторых известных звезд при помощи поперечной рейки, как это делали уже Региомонтан, Вальтер, а возможно, также Коперник и другие.

Два таких расстояния фиксировали положение планеты. Определение долготы и широты планеты по измеренным расстояниям от двух звезд, положение которых известно, было чисто тригонометрической задачей. Такое вычисление являлось обычным занятием астронома XVI в.

Тригонометрические формулы применялись также и для определения разности прямых восхождений двух звезд. Непосредственно измерить эту величину было трудно. Зато склонение звезды можно просто найти, измерив ее наибольшую высоту на юге и вычитая из нее географическую широту места. Теперь уже по трем известным величинам (склонениям двух звезд и измеренному расстоянию между ними) можно было вычислить разность прямых восхождений.

Таким образом, тригонометрические формулы вместе с таблицами синусов и других гониометрических функций стали наиболее важным вспомогательным аппаратом астрономов XVI в.

И, наконец, введение десятичных дробей в том же столетии явилось новым решительным шагом, завершившим развитие вычислительной техники и превратившим ее в искусство, способное решать любые практические задачи. Значительный толчок в этом направлении дал Симон Стевин из фламандского города Брюгге, который главным образом и известен как изобретатель десятичных дробей. В своей книге «De Thiende» («Десятичные дроби»), опубликованной в 1585 г., он объяснил, как легко можно выполнить все вычисления «при помощи целых чисел без дробей»; следовательно, он рассматривал цифры, стоящие после запятой в десятичной дроби, как целые числа, которые в каждом следующем порядке в 10 раз меньше единицы. Теперь была открыта дорога не только всякого рода астрономическим вычислениям, но также и практическому использованию приближенных и иррациональных чисел.

Конечно, практическое применение формул в астрономии требовало длительных и однообразных вычислений. Изобретение логарифмов в начале следующего века значительно сократило этот труд. Принцип логарифмов хорошо известен. Если к числам, расположенным в геометрической прогрессии, присоединить соответствующую арифметическую прогрессию (например, рядом с прогрессией: 10, 100, 1000, 10 000, ... или 2, 4, 8, 16, ... поместить прогрессию 1, 2, 3, 4, ..., которую теперь называют их «логариф-

мом»), то тогда любое умножение сведется к сложению, любое деление — к вычитанию ($8 \times 4 = 32$ сводится к $3 + 2 = 5$). Оставалось только решить вопрос о том, каковы значения логарифмов таких чисел, как 11, 12, 13, ... Около 1580 г. Йост Бюрги, ассистент Кассельской обсерватории, пришел к идее этого решения, но не смог оценить ее большого значения; составленная им таблица логарифмов стала известна лишь гораздо позднее. Честь практического введения логарифмов в науку принадлежит шотландскому ученому Джону Напье, или Неперу, как писалось его имя по-латински. Но его таблицы, опубликованные в 1614 г., не получили широкого применения на практике, так как они не были еще приспособлены к десятичной системе. Это сделал Г. Бригг, оксфордский математик, который сразу же пришел к Напье посоветоваться о дальнейшей разработке своего изобретения. В 1618 г. он опубликовал первую таблицу десятичных логарифмов, дающую величины до восьми десятичных знаков. Эта еще несовершенная таблица была дополнена Адрианом Флакком, книгоиздателем из Гáуды (Голландия), которому помогал в вычислениях его друг Езекиил де Декер. Таблицы Флакка, дававшие логарифмы до 10 десятичных знаков, послужили основой для многих более поздних логарифмических таблиц. Уже первые неперовские таблицы содержали также и логарифмы гониометрических функций синусов и тангенсов. Впоследствии отдельные вычислители и целые вычислительные коллективы заново с еще более высокой точностью пересчитали логарифмы всех основных простых (неделимых) чисел до 64 десятичных знаков.

Вычисления при помощи логарифмов, как необходимое вспомогательное средство, проникли во все отрасли практического естествознания. Но астрономия извлекла из этого изобретения больше пользы, чем любая другая наука. Благодаря проделанной ими длительной и однообразной работе по составлению логарифмических таблиц первые изобретатели и вычислители как бы удлинили жизнь всех позднейших астрономов. Именно поэтому мы можем сегодня проводить те сложные исследования, связанные с огромной вычислительной работой, которые наши предшественники вынуждены были оставить незавершенными.

ГЛАВА 20

ТИХО БРАГЕ

Одним из многих горячо принявшихся за новое для XVI в. изучение природы был и датский дворянин Тиге (латинизированный в Тихо) Браге (1546—1601). Еще в юности, когда он изучал юриспруденцию в Лейпциге, его страсть к астрономии нашла выход в тайных ночных занятиях и наблюдениях. Как и большинство его современников, он был глубоко убежден в истинности астрологической доктрины, и часто сам составлял гороскопы. Но для него это учение означало больше, чем простое составление предсказаний. Наиболее передовые умы того времени от беспорядочного хаоса социальной и политической борьбы и темной неопределенности будущего искали помощи и спасения в вере во внутреннюю связь и гармонию всего мира. Они рассуждали так: звезды управляют Землей, а движение звезд происходит в соответствии с вечными и неизменными законами. Однако наше знание как этой связи, так и движения звезд пока еще не полно. Вера в неразрывную связь между случайными событиями на Земле и закономерностями в мире звезд была руководящим принципом подобных рассуждений. Это скорее астрология, чем практика предсказаний. Таково было начало науки, которая лишь благодаря тщательному изучению окружающего мира смогла подняться от столь примитивного состояния до уровня настоящей науки [1]. Отражая знание внутреннего единства мира, она должна была дать человеку власть над своей судьбой.

[Тихо Браге также разделял подобные взгляды, однако, восприняв убеждение в единстве мира, он превратил его в исходную точку зрения, ставшую могучим стимулом, побуждавшим его к научному исследованию] [2].

Наблюдая соединение Юпитера и Сатурна в 1563 г., Тихо Браге заметил, что Альфонсинские таблицы дали момент этого явления с ошибкой в месяц, а Прусские таблицы — с ошибкой в несколько дней. Насколько возможна была в таком случае надежная связь с земными событиями? Для решения этого вопроса прежде всего было необходимо хорошее знание планетных движений, а оно могло быть получено только на основе новых, более точных наблюдений. Для этого требовались лучшие инструменты.

В 1569 г., во время пребывания в Аугсбурге, Тихо по собственному проекту сделал для братьев Гейнцель (членов городского совета и любителей астрономии) вертикальный деревянный квадрант с радиусом в 6 метров, на котором можно было брать отсчеты с точностью до 10″.

Впоследствии квадрант использовался для обычных измерений, но они занимали так много времени, что этот инструмент был неудобен для регулярных наблюдений. Для себя же Тихо сделал переносный дорожный инструмент — так называемый «секстант», представлявший собой дугу круга в 30° с двумя (закрепленной и вращающейся) линейками с визирами. Секстант служил для измерения расстояния между двумя звездами посредством визирования из центра одновременно через визиры обеих линеек. Для отсчета делений с точностью до минут он использовал метод «трансверсалей», т. е. идущих вверх и вниз рядов точек, одинаково удаленных от края круга (рис. 25). Этот метод деления позднее он применял почти во всех инструментах. После возвращения в Данию он жил в имении своего дяди, занимаясь главным образом химическими экспериментами.



Рис. 24. Тихо Браге.

Однажды вечером 11 ноября 1572 г., возвращаясь из лаборатории, он заметил справа над головой яркую звезду в созвездии Кассиопеи, которую раньше он никогда там не видел. Это была новая звезда, «nova», которая, как ему показалось, появилась определенно после первого ноября, возможно, между вторым и шестым ноября. Она была ярче любой другой звезды; по яркости она сравнялась с Венерой и была видна даже днем. Это удивительное явление взволновало весь мир, прежде всего, конечно, ученых, а затем и остальных людей. Что она означала? Этот вопрос задавал себе каждый. Беза, друг Кельвина, считал ее второй звездой Вифлеема, извещавшей о начале второго пришествия Христа на Землю. Другие обсуждали бедствия, которые она может принести, ее природу

и место во вселенной. Принадлежит ли она к миру звезд? Но ведь Аристотель установил, что в этом мире на вечные времена все остается неизменным. Принадлежит ли она к подлунному миру переменных земных элементов, или, может быть, это — замечательная комета, сконденсировавшаяся из горячих паров (рис. 26)?

Полный тех же самых вопросов, Тихо сразу начал наблюдать новую звезду, измеряя ее растояние от Полярной звезды и от соседних звезд Кассиопеи в тот момент, когда это созвездие находилось вблизи зенита, и через 12 часов, когда оно было на севере, под полюсом. Если новая звезда находится на таком же расстоянии, как Луна, и, таким образом, имеет параллакс в 1°, то во втором положении она должна была бы оказаться на 1° ниже других звезд Кассиопеи: но при высоком и низком положениях ее расстояния оказывались всегда точно одинаковыми с неопределенностью всего в несколько минут. Так было доказано, что новая звезда не имеет заметного параллакса и находится на значительно большем расстоянии, чем Луна. Это показало, что, вопреки учению Аристотеля, в эфирном мире, т. е. мире звезд, также происходят изменения.

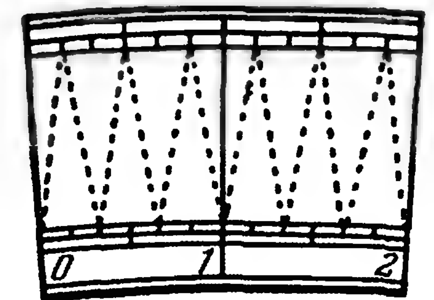


Рис. 25.

Вскоре блеск звезды начал уменьшаться, в следующем году она стала совсем слабой, цвет ее начал изменяться от желтого до красного, пока она не стала совсем бесцветной.

В 1574 г. она совсем исчезла, оставив человечество в полном недоумении и поколебав его веру в философские догмы. В мае 1573 г. Тихо опубликовал книгу о новой звезде, причем он сначала опасался, что это не подобает дворянину. Однако он преодолел свои колебания, увидев, как много нелепостей говорят и пишут повсюду об этой звезде.

Тихо обнародовал свои измерения и выводы из них, а в дополнении привел свои соображения о ее природе и астрологическом значении. Он считал вероятным, что звезда образовалась в результате конденсации тонкой светлой небесной материи, которую мы видим в Млечном Пути, и даже указал на темное пятно вблизи Млечного Пути, как на углубление, возникшее при этой конденсации.

С появлением новой звезды необычайно возрос интерес Тихо к астрономии. На небе всегда что-нибудь происходит. Кто может знать, какие великие и важные для человека события таят в себе звезды? Тихо решил поселиться где-либо в Европе (он думал о Базеле) и основать там обсерваторию для систематического наблюдения звезд.

К мысли о постройке обсерватории для регулярного наблюдения небесных тел приходили в то время и другие. В Касселе ландграф Вильгельм IV Гессенский — сын ландграфа Филиппа, хорошо известного по религиозным войнам и подъему протестантизма,— в 1561 г., еще при жизни отца, установил под вращающейся

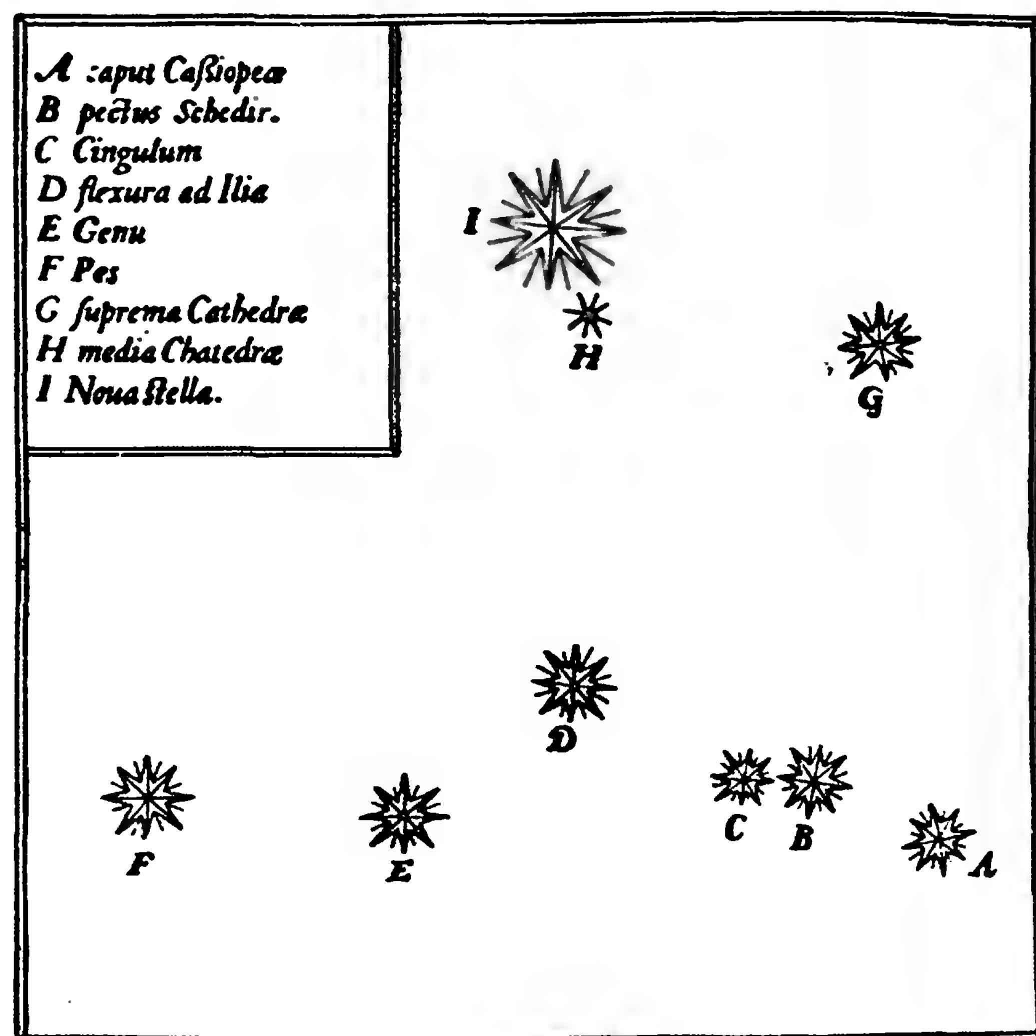


Рис. 26. Новая звезда в созвездии Кассиопеи. Из книги Тихо Браге «De Nova Stella».

крышей своего замка тщательно отделанные инструменты, на которых он сам проводил наблюдения. Там были простые квадранты и секстанты с выгравированными на металле делениями. Когда в более поздние годы он стал заниматься также и государственными делами, он взял к себе на службу в качестве наблюдателя Христоффеля Ротмана. Позднее был нанят также и Йост Бюрги, талантливый швед, искусный механик, который усердно занимался усовершенствованием часов. Тихо, путешествуя по Германии в поисках места для постройки обсерватории, в 1575 г. посетил

Кассель; этот визит оказался в высшей степени плодотворным для обеих сторон. В следующие годы в Касселе также стали проводиться многочисленные наблюдения Солнца, планет и звезд. Здесь впервые стали использовать измерение времени для определения разности прямых восхождений. В Касселе также появился первый в Западной Европе звездный каталог, основанный на заново проведенных измерениях.

Другое следствие этого визита имело еще более важное значение для астрономии. Ландграф намекнул королю Дании Фредерику, что чести и славе его королевства угрожает потеря одного из важных и знаменитых подданных. Тогда король предоставил в распоряжение Тихо островок Хвен вблизи Копенгагена, в Зундском проливе,— в качестве ленного владения, со всеми сборами податей и, сверх того, еще и доходами из других источников для того, чтобы он построил здесь обсерваторию и оснастил ее лучшими инструментами.

Здесь Тихо и поселился; в 1576 г. он начал строить «Ураниборг» — «дворец астрономии», где в дальнейшем, по мере возрастания его славы, он принимал принцев и ученых из многих стран. В этом году он начал систематические наблюдения, которые регулярно продолжались здесь в течение двадцати лет. Он окружил себя помощниками и учениками из разных стран [из Голландии здесь был Виллем Ян Блеу, в 1588—1590 гг.]; для них он приказал построить вторую обсерваторию — «Стьернеборг» («звездный дворец»).

Прежде всего благодаря использованию новых лучших измерительных инструментов, которые Тихо сам изобретал и приказывал строить, на этой обсерватории произошло настоящее обновление практической астрономии. Инструменты были различных типов, каждый иного размера и стиля. Малые — на тот случай, когда требовалась легкость и простота в обращении с инструментом, а большие — для достижения наивысшей точности. Сначала были установлены вертикальные квадранты для измерения высот с радиусами в 42 *см*, 64 *см*, $1^2/_3$ *м* и 2 *м*. Некоторые можно было направлять на любые азимуты, другие были установлены неподвижно в меридиане. Особенно часто использовался основной инструмент радиусом в 2 *м*, который известен по картине (рис. 27), где Тихо изображен за работой вместе со своими помощниками и собакой у ног; они пытаются более точно измерить склонения; отсчеты можно было снимать с точностью до $^1/_6$ минуты. Инструментом другого типа был секстант (он назывался так и тогда, когда его дуга отличалась от 60°) с двумя рейками (закрепленной и подвижной), снабженными визирами. Секстанты (рис. 28) служили для измерения расстояния между двумя звездами. Из них наиболее часто использовался секстант, несколько отличавшийся

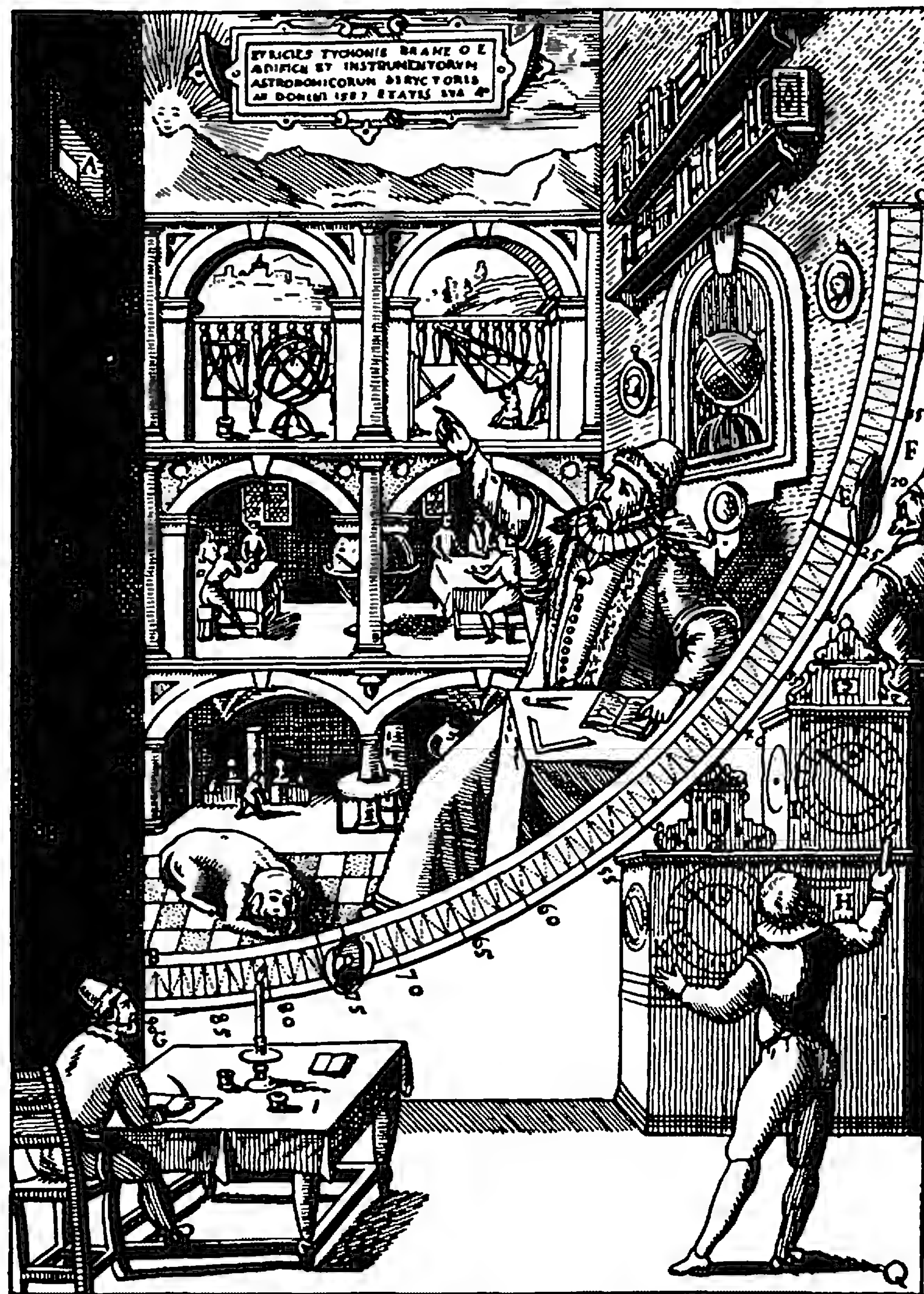


Рис. 27. Тихо Браге у своего большого квадранта.

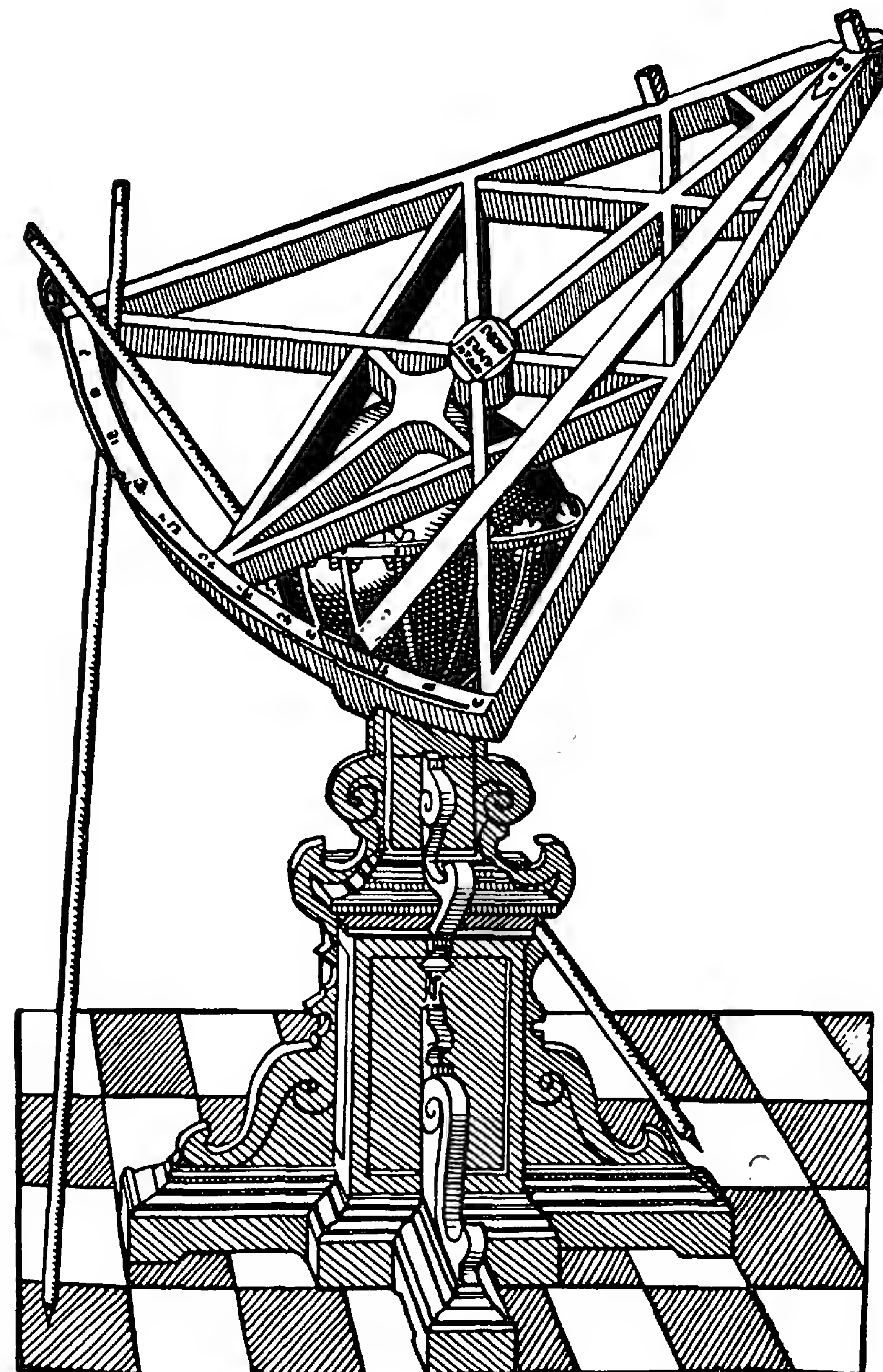


Рис. 28. Большой секстант Тихо Браге.

от малого переносного инструмента Тихо, на котором должны были работать два наблюдателя, смотревшие на звезду с внешней стороны дуги, через ее центр. Инструмент закреплялся неподвижно в своем центре тяжести на шаровом шарнире так, чтобы он находился в равновесии при любом направлении линии, соединяющей обе звезды; радиус его составлял 1,7 *м.* Были здесь и армиллы, но значительно более простой и устойчивой конструкции (без эклиптикальных колец) для отсчета экваториальных координат более надежным способом. Кольца устанавливались по прямому восхождению какой-либо известной звезды, тогда прямые восхождения других звезд и планет можно было отсчитывать непосредственно. Наибольшее упрощение было достигнуто в полярной оси, сверху и снизу покоящейся на каменной кладке и регулируемой винтами; к ней был прикреплен только круг склонения диаметром 2,9 *м,* снабженный визирами. Его можно было поворачивать на любые часовые углы, которые отсчитывались па половинном экваториальном круге.

При использовании всех этих инструментов принимались особые меры предосторожности для достижения наибольшей точности. Отсчет наименьших делений проводился, как уже упоминалось, по методу поперечно выгравированных точек. Только полстолетия спустя Пьер Вернье изобрел метод вспомогательной дуги (неправильно называемой у нас по имени португальского астронома — Педро Нуньеса — «нониусом»), на которой, например, 9′ делились на 10 равных частей. Такое приспособление в следующие столетия применялось на всех астрономических инструментах.

Для точного наведения на звезду Тихо изобрел особого рода визиры, которые он применял во всех своих инструментах. На большом квадранте, например в центре, помещался цилиндрический стержень. Визир состоял из пластинки с двумя узкими горизонтальными щелями, расположенными друг над другом на расстоянии, точно равном диаметру стержня. Если, визируя поочередно через обе щели, наблюдатель видел, что стержень рассекает проекцию звезды ровно пополам, это означало, что звезда визирована точно. Тихо дал детальные описания и рисунки всех этих инструментов в книге «Astronomiae instauratae mechanica» («Механика обновленной астрономии»), опубликованной в 1598 г. Другая его книга «Astronomiae instauratae progymnasmata» («Приготовление к обновленной астрономии») печаталась по частям с 1588 г.; она содержала результаты его наблюдений Солнца, Луны, неподвижных звезд, звезды 1572 г. и комет и полностью была опубликована в 1602 г. уже после его смерти.

Тихо Браге начал с движения Солнца. Измеряя его высоты как в зимние, так и в летние солнцестояния, он смог вывести наклон эклиптики (как их полуразность) и высоту экватора (как их полусумму). Последняя оказалась на 4′ больше, чем величина, соответствовавшая высотам Полярной звезды над и под полюсом. Он подозревал, что причиной этого различия была рефракция в атмосфере, так как высота Солнца на Хвене во время зимнего солнцестояния едва составляла 11°. Следя за Солнцем в июне при помощи своей экваториальной армиллы с полудня, когда оно было в наивысшей точке, и почти до заката, он установил, что оно отклоняется немного к северу (как уже раньше заметил Вальтер). При высоте 11° Солнце поднималось на 9′; это объяснило найденное отклонение. Из большого числа измерений высот и азимутов Тихо Браге вывел величину рефракции для разных высот. По его таблице увеличение высоты Солнца из-за рефракции составляло 34′ при высоте 0°, 26′ при 1°, 10′ при 10°, $4^1/_2{}'$ при 20°, 1′25″ при 30° и 10″ при 40°. Выше 45° увеличение высоты не обнаруживалось. Тихо Браге считал, что это объяснялось пара́ми, находящимися в верхних слоях атмосферы. Так как по этой таблице Полярная звезда, так же как и точка летнего солнцестояния, были свободны от рефракции, наклон эклиптики можно было вывести отсюда в чистом виде. Эта величина оказалась равной $23°31^1/_2{}'$.

Однако Вальтер и Коперник нашли 23°28′. Тихо заподозрил, что они также в результате рефракции получили зимнюю высоту завышенной и, таким образом, наклон оказался заниженным на 3′ или 4′. Чтобы убедиться в этом, впоследствии он послал одного из своих помощников во Фромборк для того, чтобы определить высоту полюса. Она действительно оказалась на $2^1/_4{}'$ больше, чем у Коперника, который вывел высоту полюса на основании измерения высот Солнца. Таким образом, все наблюдения проводились с новой значительно более высокой точностью, при которой различие в несколько минут и их долей становилось заметным.

Любопытно, что наклон, полученный Тихо, все же был на 2′ больше истинного. Он исправлял свои измерения высот не только за рефракцию, но также и за параллакс Солнца. По Аристарху и Птолемею параллакс $^1/_{19}$ лунного параллакса составлял 3′; приняв это значение, Тихо получил для высоты Солнца в летнем солнцестоянии величину, завышенную на $1^1/_2{}'$. Очевидно, у него не было сомнений, которые заставили бы его не доверять этой величине. Конечно, трудно было сделать новое определение, и он просто говорит: «Эта величина кажется настолько детальным исследованием древних, что мы заимствовали ее с большой уверенностью» [3].

Следовательно, многие величины, определенные им,— ошибочны на несколько минут. Возможно, что именно в связи с этим

обстоятельством он получил для звезд меньшую рефракцию, чем для Солнца; все величины рефракции для звезд в таблице на $4^1/_2'$ меньше, чем для Солнца, поэтому рефракция для звезд была уже нечувствительна при высоте больше 20°.

Для того чтобы найти эксцентриситет солнечной орбиты, Тихо использовал точки равноденствий, а вместо не очень легко наблюдавшихся моментов солнцестояний обратился к моментам, когда Солнце стояло точно посередине между обоими равноденствиями и летним солнцестоянием. Так как его измерения, помимо большой точности, продолжались непрерывно в течение многих лет, он смог найти интервалы времени с большей точностью, чем прежние наблюдатели. Тихо нашел, что эксцентриситет равен 0,03584, а долгота апогея $95^1/_2°$. Он указал, почему результат Коперника был получен с ошибкой, в то время как по наблюдениям Вальтера получались значения 0,03584 и $94^1/_3°$, почти идентичные его результатам. Он принял регулярное продвижение долготы апогея в 1°15′ в столетие; все нерегулярности Коперника он просто опустил.

Впервые движение Луны также наблюдалось теперь в течение всех этих лет. Это дало первые точные значения эксцентриситета лунной орбиты в терминах птолемеевских вариаций: от 4°58′ в полнолунии и новолунии до 7°28′ в квадратурах; эти колебания Тихо объяснял при помощи искусной системы эпициклов.

Более того, он открыл еще одну «вариацию» (название, под которым она известна до сих пор): Луна в октантах поочередно опережает на $40^1/_2'$ свое положение на расстоянии 45° до полнолуния и новолуния и отстает на $40^1/_2'$ на расстоянии 45° после них. Он нашел также, что весной Луна всегда отстает на 11′, а осенью на столько же минут уходит вперед; следовательно, зимой она двигалась медленнее, а летом — быстрее. Замечательно, что это отклонение, названное позднее «годичным неравенством», было также независимо от Тихо замечено и Кеплером, но без измерений. Лунное затмение весной 1598 г., вычисленное им для альманаха провинции Штирия, наступило на $1^1/_2$ часа позднее; когда Кеплера спросили о причине этого, он написал, что Солнце оказало замедляющее влияние на Луну, которая двигалась медленнее всего зимой потому, что Солнце тогда было ближе к Земле. Объяснение, вполне соответствующее современным взглядам!

Дальше Тихо вывел из своих наблюдений, что наклон лунной орбиты не равен 5°, как предполагалось ранее, но что он колеблется между минимумом в $4°58^1/_2'$ в полнолунии и новолунии и максимумом в $5°17^1/_2'$ в квадратурах. Более того, он нашел, что движение лунных узлов за свой девятнадцатилетний период не остается равномерным, а происходит быстрее в полнолунии и новолунии и более медленно — в квадратурах. Он смог воспроизвести эти неравенства, предполагая, что полюс лунной орбиты, который за 19 лет описывает около полюса эклиптики круг радиусом в 5°8′, также описывает малый круг с диаметром в $9^1/_2$ минут за полгода.

Выводя положение новой звезды 1572 г. при помощи расстояний от известных звезд Кассиопеи, Тихо заметил, насколько сильно влияла неточность в определении положений звезд на точность измерений их расстояний. Ему были необходимы точные положения звезд, так как он непрерывно определял положения Луны и планет, измеряя их расстояния от звезд. Склонения звезд он мог найти непосредственно, измеряя их высоту в меридиане большим квадрантом. Разность прямых восхождений двух звезд приходилось определять при помощи армиллы или вычислять при помощи тригонометрических формул на основании расстояний, измеренных секстантом. Само прямое восхождение должно было отсчитываться от точки весеннего равноденствия (воображаемой точки небесной сферы, положение которой определялось при помощи Солнца). Из склонения Солнца, измеренного тогда, когда оно было по соседству с точкой весеннего равноденствия, можно было вычислить его расстояние от этой точки; если в то же самое время была измерена разность прямых восхождений Солнца и звезды, тогда можно было найти прямое восхождение самой звезды. Так как звезды не видны в дневное время, их невозможно непосредственно сравнивать с Солнцем.

Древние в качестве промежуточного звена использовали Луну, но Тихо использовал планету Венеру, положение которой изменяется значительно медленнее в те периоды, когда она хорошо видна днем. В 1582—1588 гг. был выполнен большой ряд измерений ее расстояния от низко стоявшего Солнца, а ночью — от избранных звезд. Для того чтобы исключить влияние рефракции при выводе результатов, постоянно комбинировались вечерние и утренние наблюдения Солнца на равных высотах. Эти меры предосторожности оказались удачными; полученные таким образом 15 значений прямого восхождения звезды (α Овна) отличались друг от друга не более чем на 40″, т. е. меньше, чем можно было бы ожидать даже при самых тщательных наблюдениях. Затем произведя большое число часто повторявшихся измерений, Тихо определил с большой точностью прямые восхождения и склонения 21 опорной звезды; средняя ошибка их определения, как найдено из сравнения с современными данными, была меньше 40″. Для того чтобы проверить, точную ли длину имеет дуга его секстанта, он сложил все вычисленные таким образом разности прямых восхождений по всей небесной сфере (для того чтобы посмотреть, равна ли их сумма в целом 360°). Оказалось, что эта сумма отличалась от 360° всего на несколько секунд. Конечно,

это было чистой случайностью, так как даже в том случае, если для расчетов были специально подобраны лучшие значения, все равно в сумме такие величины, каждая из которых определена с неточностью в несколько десятков секунд, могут дать бо́льшую ошибку, например в 1′.

Конечно, положения других, более слабых, реже наблюдавшихся звезд его каталога, насчитывающего всего 788 звезд, менее точны; средняя их ошибка при сравнении с современными значениями оказалась около 1′.

Каталог звезд Тихо был первым полным современным каталогом. Он занял место каталогов Гиппарха и Птолемея, значительно превосходя их по точности. Как лучший результат тщательных многолетних наблюдений, этот труд Тихо ознаменовал начало новой эры в астрономии. В течение более чем столетия он оставался постоянным источником справок о положении звезд. Хотя экваториальные координаты — прямое восхождение и склонение — измерялись непосредственно, каталог, оставаясь верным древнему обычаю, давал вычисленные по ним эклиптикальные координаты — долготу и широту. Звезды обозначались, как и у Птолемея, по частям или границам созвездий. Только впоследствии, в 1603 г., Байер, публикуя под названием «Уранометрия» небесные атласы со всеми звездами Тихо, добавил греческие буквы к ярким звездам; это буквенное обозначение с тех пор вошло в общее употребление (рис. 29).

Сравнивая свои долготы звезд с данными, полученными в древности и в последнем столетии, Тихо вывел точное значение прецессии 51″ в год. Он считал ее совершенно равномерной и ничего не говорил о «трепидации», которая доставляла так много волнений Копернику; таким образом, этот призрак исчез из астрономии. Однако Тихо обнаружил другое явление. Сравнив свои широты звезд с широтами, полученными в древности, он установил, что в районе Близнецов они возрсели с 15′ до 20′ и уменьшились на такую же величину в районе Орла. Таким образом, исследования Тихо показали, что положение эклиптики относительно звезд изменяется так же, как и относительно экватора; поэтому уменьшение величины наклона следует приписывать не экватору, а эклиптике.

Так были заложены новые основы точности, неизвестной ранее в практической астрономии.

Не менее важны были и проводившиеся в Ураниборге наблюдения комет. Положения различных комет, появлявшихся в эти годы, определялись насколько возможно чаще, главным образом по измерению расстояний от известных звезд. Положение яркой кометы 1577 г. определялось в основном жезлом Якова, т. е. поперечной рейкой, потому что новые инструменты не были

еще готовы. Современное вычисление ее орбиты показывает, что положения Тихо имели среднюю ошибку в 4′. Для кометы 1585 г., измеренной при помощи лучших его инструментов, ошибка не превышала 1′. При наблюдении этой кометы Тихо попытался



Рис. 29. Изображение созвездия Ориона в «Uranometria» Байера.

определить ее параллакс, измеряя ее положение среди звезд, когда она была низко на небе, и сравнивая его с положением на большой высоте. Если бы комета находилась хотя бы на таком же расстоянии от Земли, как Луна, то из-за параллакса в ее положениях должны были бы проявиться большие различия, вплоть до 1°. Но он не нашел и следа параллакса; комета, по его осторожному заключению, должна была быть по крайней мере в шесть

раз дальше, чем Луна. Однако и этого вывода было вполне достаточно для полного опровержения (в сообщении о комете 1577 г.) старого учения Аристотеля о том, что кометы — это огненные явления в подлунных областях, т. е. в верхних слоях атмосферы. Тихо включил кометы в ранг небесных тел; они стали относиться к миру звезд, а их орбиты в пространстве должны были определяться астрономами. Не удивительно, что он и сам ошибался, считая их орбиты наклонными окружностями.

Значительно более обширными, чем эти спорадические наблюдения, были проводившиеся в Ураниборге определения положений планет. Увлекавшийся астрологией Тихо считал эти определения главной своей задачей, поэтому они и составляли значительную часть работ на Хвене.

Обработка и изучение этих материалов для определения более точных орбит планет были первоочередной задачей, для которой все предшествующие результаты оставались лишь предварительными.

Но теперь практические условия его жизни стали препятствием. В 1588 г. его покровитель король Фредерик умер, а власть сначала перешла в руки группы высшей знати — опекунов его наследника, а затем — к малолетнему сыну Фредерика. Все эти люди не так хорошо относились к ученому. Тихо непрерывно ссорился то с одним, то с другим из своих арендаторов потому, что пытался получить как можно больше денег для астрономической работы, а высший придворный суд часто признавал его неправым. Из-за гордости и высокомерия Тихо у него появилось много врагов среди дворян и высших должностных лиц. Это привело к тому, что некоторые из его прежних доходов теперь были у него отобраны; Тихо обиделся и в 1597 г. покинул Данию. После некоторых странствий он нашел нового покровителя в лице императора Рудольфа II, который, однако, сам всегда испытывал финансовые затруднения. В 1599 г. Тихо поселился в Праге, в императорской резиденции, где со своим помощником Лонгомонтаном продолжал наблюдения на тех инструментах, которые ему удалось привезти с собой с Хвена. Но силы его были подорваны; в октябре 1601 г. Тихо умер, оставив все свои наблюдения Иоганну Кеплеру, который в последний год был его помощником.

ГЛАВА 21

РЕФОРМА КАЛЕНДАРЯ

Календарь служит для регулирования жизни общества во времени. Уже с древности он был религиозным делом. С возникновением в Римской империи христианства, которое как всемирная религия выражало новые, более глубокие общественные отношения, чем старые племенные и государственые религии, религиозные праздники приобрели также новый характер. Они утратили непосредственную тесную связь с практикой производственных процессов в связи с сезонными изменениями.

Как средство регулирования христианских праздников, календарь стал теперь делом церкви. На первом месте стояло фиксирование даты пасхи в связи с другими подвижными праздниками. Для христиан празднование пасхи не означало больше весенних жертвоприношений из нового урожая, а стало ежегодным празднованием воскрешения Христа.

По евангелию воскрешение произошло в воскресенье, т. е. в день, следующий за субботой еврейской пасхи, которая приходится на полнолуние пятнадцатого числа первого месяца нисана. Следовательно, празднование должно было происходить в первое воскресенье после первого весеннего полнолуния, т. е. после дня весеннего равноденствия 21 марта. Таким образом, помощь астрономии здесь была необходима. Так как пасха стала всеобщим праздником, который должен был отмечаться одновременно во всех церквах Запада и Востока, нельзя было ждать до тех пор, пока удастся пронаблюдать полнолуние. Его надо было установить заранее на основании теории. Ясно также, что исходные правила должны были быть довольно простыми, применение которых было бы доступно сведущим в циклах и периодах священникам и не требовало бы в каждом отдельном случае астрономических вычислений, необходимых при определении всяких неравенств Луны.

Сильные и неправильные скачки дат пасхи происходили из-за приспособления лунных фаз к римскому солнечному календарю. [Таким образом, не зря современные хронологи (например, В. Е. ван Вийк) говорят, «что подвижен не праздник пасхи,—

он всегда приходится на воскресенье первого месяца лунного года,— а подвижен наш счет дней относительно праздника пасхи».]

По лунному календарю пасхальное воскресенье определенно не имело бы фиксированной даты, так как счет семидневных недель ведется независимо от Солнца и Луны; но эта дата не может изменяться более, чем от одного до семи дней после полнолуния; приспособление же к солнечному календарю вносит различные трудности и нерегулярности. Конечно, девятнадцатилетний период — общее кратное месяца и года — следовало использовать как прочную основу для вычисления, доступного простым смертным. Но если мы примем во внимание, что регулярное чередование 29 и 30 дней через несколько лет становится неправильным и что из-за интеркаляции одного дня в каждом четвертом году эта регулярность также нарушается, то становится ясно, сколько трудностей, порождавших сильную внутреннюю борьбу, встречала христианская церковь в первые столетия своего существования при фиксировании дат пасхи.

Удачное решение этих вопросов дала работа некоего Дионисия — папского архивариуса, который, в отличие от известного отца церкви, называл себя Дионисий «малый». В одном отрывке (ок. 520 г. н. э.), где он одновременно ввел счет лет от «рождества Христа», вместо их счета относительно эр римских императоров он использовал правила вычисления пасхи, которые применялись в римском календаре на Востоке. Если мы опустим некоторые небольшие усложнения, эти правила сведутся к следующему. В каждом году 12 лунных месяцев поочередно считаются состоящими из 29 или 30 дней, следовательно, в целом — из 354 дней; но их действительная продолжительность составляет 354,367 дня. Тогда за 19 лет мы укорачиваем этот период на $19 \times 0{,}367$ дня $= 7$ дней. В этом цикле тринадцатый месяц вставлялся 7 раз; если предполагалось, что все месяцы содержат по 30 дней, т. е. длина каждого из них оказывалась на $^1/_2$ дня больше истинной, тогда этот период должен был уходить вперед на $3^1/_2$ дня. Более того, юлианские прыгающие годы еще прибавляли за девятнадцатилетний цикл $4^3/_4$ дня, так что укорачивание на 7 дней в значительной степени компенсировалось. Действительно, $19 \times \times 354$ дн. $+ 7$ дн. $\times 30 + 4^3/_4$ дн. $= 6940^3/_4$ дня. [Тогда как 19 лет по $365^1/_4$ дня дают $6939^3/_4$ дня. При этом попеременно повторялись обычные лунации, так как месяц брался в 29 или 30 дней, как будто они такими и были; 7 вставных месяцев брались по 30 дней, а затем могли также вставляться високосные годы.] Остается еще различие в 1 день; оно пряталось в конце каждого цикла, его называли saltus lunae, т. е. «скачок Луны». На протяжении всего средневековья это расхождение оставалось предметом

удивления, так как введенное человеком правило — Луна совершает «скачок» каждые 19 лет — рассматривалось как священный факт природы.

В обширной средневековой литературе и утомительной практике календарного вычисления (так называемого «computus») вошли в употребление многие технические термины, которые продолжают существовать в различных вариантах и в наших альманахах. «Эпакта» года есть число дней, на которое возраст Луны на данную дату больше ее возраста на ту же самую дату первого года девятнадцатилетнего цикла. Эпакта возрастает на 11 (т. е. на 365—354) с каждым годом или уменьшается на 19 потому, что из нее вычитается 30, если она оказывается больше 30. Таким образом, для последовательности годов цикла она равна 0, 11, 22, 3, 14, 25, 6 и т. д. Величины 365 и 354 в действительности составляют 365,25 и 354,37. Эти ошибки компенсировались одним днем за цикл, тем самым одним днем, который упоминался выше; он здесь и скрывается, потому что эпакта равна 18 для последнего года цикла, где мы не обращаем внимания на тот факт, что $18 + + 11 = 29$ не возвращается к 0. Таким образом, эпакта зависит от порядкового номера года внутри девятнадцатилетнего цикла, называемого «золотым числом» (оно на единицу больше, чем остаток от деления цифр года на 19, причем первый год дает в остатке 0). В первом году каждого цикла новолуние падает на двадцать второе марта; следовательно, для каждого года эпакта указывает возраст Луны от двадцать второго марта; полнолуние, когда Луна бывает в возрасте четырнадцати дней, приходится в первом году цикла на пятое апреля, а в каждом следующем году — на 11 дней позже или на 19 дней раньше.

Для того чтобы узнать, какой день недели выпадает на такую-то дату, используется «солнечный цикл» из $4 \times 7 = 28$ лет, по истечении которого названия дней недели повторяются. С каждым следующим годом дни недели продвигаются вперед на один, а с високосным годом — на два дня. Если мы возьмем для дней недели 7 букв — A (для первого января), B, C и т. д. до G, тогда буква, выпадающая на воскресенье, называется «Воскресной буквой» (по-славянски «вруцелето»). Она отступает назад на одну букву с каждым обычным годом и на две с каждым високосным годом (после февраля). Зная эту букву для данного года, мы находим день недели для пасхального полнолуния, а следовательно и дату пасхального воскресенья.

Здесь можно указать в качестве примера, свидетельствующего о прогрессирующей власти абстрактной математики в современном мире, на то, что все эти сложные вычисления пасхалий Гаусс в 1800 г. свел к одной формуле. Расчеты по этой формуле занимали всего несколько минут и полностью решали вопрос. Деля

порядковое число года на 19, на 4 и на 7, получим остатки, которые назовем соответственно a, b, c.

Пусть остаток от деления числа $19a + 15$ на 30 равен d (где $d < 30$), а остаток от деления числа $2b + 4c + 6d$ на 7 равен e (где $e < 7$). Тогда дата пасхи вычисляется по формуле: 22 марта $+ d + e$.

В противоположность современному положению культуру и типичный для средневековья образ мышления наглядно характеризует тот факт, что такая простая арифметическая задача, самим человеком сформулированная, представлялась ему иным, таинственным миром с любопытными правилами, властвующими над церковными обрядами и жизнью человека. Однако даже и с этими величинами и правилами церкви удалось выполнить свою задачу фиксирования праздников на протяжении самых мрачных веков упадка науки.

В эпоху позднего средневековья было замечено, что календарь и вычисления пасхалий больше не совпадают с действительностью. Юлианский год из $365^1/_4$ дней был длиннее действительного на 0,00780 дня; расхождение составляло 1 день за каждые 128 лет, так что около 1300 г. весеннее равноденствие пришлось вместо двадцать первого марта на тринадцатое. Более того, 235 месяцев 19-летнего цикла, полагавшиеся равными $6939^3/_4$ дня, в действительности составляли 6 939,69 дня; из-за этого теперь, через 950 лет, составляющих пятьдесят циклов, полнолуние наступало на 3 дня раньше, чем было вычислено. Таким образом, вычисление пасхи оказалось целиком ошибочным и пасха праздновалась в неверные дни. Уже Роджер Бэкон отмечал, насколько постыдно было для христианской церкви то, что мясо ели в великий пост,— хороший повод для насмешек со стороны евреев и мусульман! Но междоусобные споры внутри церкви, вспыхнувшие в следующие столетия, помешали принятию каких-либо мер в этом отношении.

Мы уже упоминали, что в XV в. папа Сикст IV пригласил для этой цели в Рим Региомонтана, но из-за его преждевременной смерти все осталось по-прежнему. Перед лютеранским собором (1512—1517) Пауль Миддельбургский, епископ Фоссомброна (написавший большое сочинение о календарной реформе), просил совета у Коперника, который, однако, должен был ответить, что не располагает еще достаточными данными для того, чтобы хорошо это сделать. Но его собственная работа вскоре восполнила этот недостаток; с новыми данными из «De Revolutionibus...» («Об обращениях») и из таблиц Рейнгольда уже можно было провести эту реформу.

Трентский собор (1545—1563) поручил папе составить необходимые правила, и в 1582 г., при Григории XIII, это было осуществлено.

Прежде всего большие ошибки, которые постепенно накапливались и, наконец, привели к тому, что весеннее равноденствие наступало теперь на 10 дней раньше, а предполагаемая фаза Луны наступала на 3 дня после действительной, пришлось устранить введением одновременного скачка. Для того чтобы календарь оставался правильным и в будущем, следовало составить новые правила. Было известно, что истинная длина тропического года на $^1/_{128}$ дня меньше, чем юлианский год из $365^1/_4$ дня. Было известно также, что 235 месяцев 19-летнего цикла (основа средневекового вычисления пасхалий) на $^1/_{17}$ дня короче 19 лет, так что через каждые 317 лет полнолуние следует брать на один день раньше.

Более простой модификацией календаря было остроумное изобретение библиотекаря Алоизия Лилия (Джильо), предложенное его братом после смерти Алоизия церковной комиссии, учрежденной для реформы календаря. Это изобретение было рассмотрено и одобрено астрономическими экспертами и сразу же принято комиссией. Оно состояло, во-первых, в опускании трех високосных лет за каждые 400 лет (таким образом, ошибка составляла теперь $^1/_{133}$ дня вместо $^1/_{128}$ дня в юлианском календаре). Это осуществлялось исключением из числа високосных тех столетий, которые не делятся на 400. Во-вторых, изобретение Лилия состояло в том, чтобы сохранить девятнадцатилетний цикл и отодвинуть назад время полнолуния и новолуния на 1 день 8 раз за 2500 лет; это следовало делать в 1800 г., 2100 г. и в каждые следующие 300 лет до 3900 г.; затем в 4300 г. и снова в каждые следующие 300 лет. С каждым столетием изменялись скачком календарные величины и постоянные в формуле Гаусса. Так, если в XVIII в. $d = 15$, $e = 6$, то в XIX в. $d = 23$, $e = 4$, а в XX в. $d = 24$, $e = 5$. Эпакта уменьшалась на единицу в 1700 г., 1900 г., 2200 г., 2300 г., 2500 г. и увеличивалась на единицу в 2400 г. Однако в солнечном круге первая относящаяся к нему воскресная буква в любом високосном году перескакивает назад на одну.

Если бы календарная реформа проводилась перед Реформацией, ничто не мешало бы ее всеобщему признанию. Но теперь, в период острой религиозной борьбы, она проводилась папой и Коллегией кардиналов, которые не имели авторитета в протестантских странах. Еще хуже было то, что в папской булле, где провозглашалась календарная реформа, папа «приказывал» королям и республикам ввести новый календарь. В то время как Испания, Франция и Польша сразу выполнили этот приказ, протестантские страны отказались это сделать. Позднее Кеплер весьма умелыми аргументами, в форме диалога, пытался убедить своих собратьев по религии в необходимости ввести новый календарь в Германии; но чистота его учения во всяком случае подвергалась сомнению.

Когда в 1700 г. этот вопрос стал настоятельно необходимым, выход был найден во введении нового стиля несколько иным путем, для того чтобы подчеркнуть независимость от Рима. Это различие заключалось в вычислении пасхи по действительной фазе Луны, а не по циклам, так что иногда в католических и протестантских районах пасха отмечалась с расхождением на неделю. В течение XVIII в., однако, григорианский календарь был введен повсюду в протестантской Европе ([в Нидерландах в 1701 г.], в Англии в 1752 г.).

Россия присоединилась к этому в XX в., и грегорианский календарь утвердился во всем мире, хотя для обрядовых целей до сих пор используются местные и национальные календари. Теперь идет обсуждение проекта реформы календаря, основанного на идее о том, что в наш «век машин» механизированному миру нужен механизированный календарь. Однако в виду значения, придаваемого ведущими общественными кругами многих стран древним традициям и обычаям, кажется невероятным, чтобы такое изменение вскоре могло произойти.

ГЛАВА 22

БОРЬБА ЗА СИСТЕМУ МИРА

Как бы высоко ни ценили Коперника астрономы за новые фундаментальные численные данные для планетных орбит, его гелиоцентрическая система мира с движущейся Землей не находила еще большого признания. Возражения, затруднявшие ее принятие, были двух родов: теологические, исходившие из авторитета библии, и физические, опиравшиеся на авторитет учения Аристотеля, соответствовавшего повседневному опыту.

Теологическая трудность имела больший вес у протестантов, чем у католиков. Кардиналы и епископы побуждали Коперника опубликовать свою работу; один папа благожелательно выслушал изложение новой теории, а другой принял посвящение ему этой книги. С другой стороны, протестантские вожди — Лютер и Меланхтон — резко ее отвергли. Мартин Лютер в одной из своих проповедей в 1539 г. сказал: «Этот глупец хочет перевернуть все искусство астрономии; но по священному писанию Иисус приказал остановиться Солнцу, а не Земле» [1]. Меланхтон в 1550 г., цитируя псалмы и экклезиаст о том, что Земля вечно стоит, а Солнце восходит и заходит, добавлял: «Подкрепляемые этими божественными скрижалями, мы останемся верными истине» [2]. Для протестантства строго буквальная законность библии была основой веры, тогда как католическая церковь провозгласила право ее толкования. При Павле III общее направление церкви могло показаться склонным к нерешительности, примирению и преодолению разногласий для того, чтобы восстановить единство при помощи уступок новой идее. Но это положение изменилось. Во второй половине века спор между отцами церкви стал более определенным, борьба — более острой и непримиримой, а мир — более суровым. Установление орденом иезуитов строгого учения уничтожило радостную, пронизанную солнцем философию эпохи Возрождения. На Трентском соборе церковь сплотилась в твердую военизированную силу, строго следящую за любым отклонением от установленной доктрины; таким образом, она все более и более возвращалась к первоначально оставленной позиции.

Для Тихо Браге теологическое доказательство также было важным. Его не могло не отталкивать мнение, противоречащее

библии, которое в протестантской Дании определенно должно было вызвать неприятные споры и помешать его работе по возрождению практической астрономии. Но все же решающими были физические возражения. Прежде всего неуклюжая, состоящая из тяжелого вещества Земля не могла быть быстро движущимся небесным телом. Кроме того, если Земля ежегодно описывает окружность, то это должно отражаться на видимом круговом движении звезд и планет. Остающийся при этом неподвижным эпицикл называется годичным параллаксом. Коперник говорил, что из-за большой удаленности звезд он не должен быть заметен. Однако при годичном параллаксе, например в 2′, который мог заметить уже Тихо, расстояния до звезд должны были в сотни раз превосходить размеры планетной системы.

Такая огромная пустота между самой далекой планетой — Сатурном — и сферой неподвижных звезд была бы совершенно бесполезной. Эти трудности побудили Тихо, как он говорил, в 1583 г. предложить другую систему мира, которая имела бы то же самое преимущество, что и у Коперника, т. е. не нуждалась бы в эпициклах для всех планет, и где были бы устранены трудности, происходящие от движения Земли. В системе Тихо Солнце и Луна двигались вокруг покоящейся Земли; в то же время Солнце было центром всех планетных орбит и увлекало их за собой в своем годичном обращении. Небесная сфера увлекала все в своем суточном вращении. Ясно, что в этой системе движения небесных тел относительно Земли должны были точно совпадать с системой Коперника.

В переписке Тихо с кассельским астрономом Ротманом, защищавшим систему Коперника, систематически обсуждались доказательства за и против каждой теории. «Скажите мне,— писал Тихо в 1589 г.,— как может шар, падающий с высокой башни, при быстро вращающейся Земле, попасть точно в точку, находящуюся под ним? И считаете ли Вы возможным, чтобы Сатурн был в 700 раз дальше от сферы неподвижных звезд, чем от Солнца?» Звезда третьей величины (видимый диаметр которой он предполагал равным 1′) в этом случае должна была бы оказаться такой же большой, как земная орбита. Тихо также напоминал, что он проводил опыты на быстро идущем под парусами судне, наблюдая падение объектов с верхушки мачты; они не падали точно вниз, а несколько отклонялись назад.

В университетах продолжали господствовать всемогущие и неприступные Аристотель в философии и Птолемей в астрономии. [Число приверженцев гелиоцентрической системы было невелико. Среди них особенно выделялся Джордано Бруно, восторженный апостол нового учения, который принес в Европу новое мировоззрение. Но смелый полет его мысли — учение о бесконечном множестве миров, где все неподвижные звезды — солнца, окруженные планетами, которые, возможно, населены иными людьми,— должен был скорее запугать, чем увлечь более робкие умы. Сожжение его как еретика в 1600 г. в Риме было предостережением со стороны церкви. Однако предрассудок не помешал принять идею о движении Земли таким людям, как Бенедетти, сделавшему первый (1585 г.) важный шаг к замене аристотелевского учения о движении более современными воззрениями, и Джильберту, который как самый первый современный экспериментатор выдвинул учение о магнитной силе (1600 г.). Симон Стевин в своих «Wisconstighe Ghedachtenissen» («Математических мемуарах»), опубликованных в Лейдене в 1605 г., решительно стал на сторону Коперника и улучшил его теорию, доказав ненужность третьего движения Земли, состоящего в годичном конусообразном движении земной оси. Это он сделал благодаря более современному взгляду на механику. Он считал, что ось такого быстро вращающегося тела, как Земля, по самой природе своей сохраняет определенное направление в пространстве.



Рис. 30. Иоганн Кеплер.

Таким же убежденным коперниканцем был Михаил Местлин, профессор математики в Тюбингене, и именно благодаря этому его ученик Иоганн Кеплер (1571—1630) стал горячим сторонником нового учения] [3].

Став провинциальным преподавателем математики в Граце, Кеплер в своей книге «Misterium Cosmographicum» (1596 г.) выступил как энергичный защитник учения Коперника с совершенно новым аргументом. В этой книге он дал объяснение строения планетной системы, показав, почему 6 планет находятся именно на таких расстояниях от Солнца; в своем объяснении он связал эти расстояния с пятью правильными многогранниками, называемыми «платоновыми фигурами». Если на каждом из шести планетных кругов построена сфера, мы можем между каждой парой

последовательных сфер, считая их точно концентрическими, построить одно из правильных геометрических тел таким образом, чтобы его вершины были расположены на внешней сфере, а плоскости были бы касательными к внутренней сфере. Отношение диаметров внешней сферы к внутренней в случае икосаэдра и додекаэдра равно 1,24, в случае куба и октаэдра 1,73; в случае тетраэдра 3. Среди отношений радиусов последовательных планетных кругов есть две небольшие величины 1,4—1,5 для комбинации Земля — Венера и Марс — Земля, две несколько бóльшие величины — 1,8—1,9 для Венеры — Меркурия и Сатурна — Юпитера и одна очень большая — 3,4 — для Юпитера — Марса. Конечно, здесь не может быть точного равенства, потому что центры планетных орбит расположены не в центре Солнца, так что эксцентриситеты также играют роль. Однако совпадение слишком велико, чтобы быть случайным. Итак, Кеплер, движимый более астрологическими идеями, расположил 5 геометрических тел в последовательности, идущей от центра наружу: 8-, 20-, 12-, 4-, 6-гранник, между шестью планетными сферами. Рис. 31 представляет модель этого устройства, приведенную в его книге. Раскрыв этот секрет строения мира, Кеплер поднял теорию Коперника на уровень, значительно превосходящий спорное мнение, основанное на неопределенном эмпиризме, и сделал ее фундаментальной философской истиной.

[К XVI в. относится весьма ценное сообщение Кеплера о попытке определения им расстояния до неподвижных звезд путем измерения годичного параллакса, при котором одновременно была бы проверена истинность гелиоцентрической системы. Правда, это была попытка с негодными средствами, однако идея способа была совершенно верной. Позднее Кеплер пришел к мысли, что подобно тому, как орбита Сатурна в 10 раз больше орбиты Земли, сфера неподвижных звезд должна быть в 10 раз больше орбиты Сатурна. Тогда годичный параллакс звезды должен составлять 0°,5.]

Свою «Космографию» Кеплер послал, в числе других, также и Галилею, который с 1592 г. преподавал в Падуе математику и астрономию. В своем ответном письме (1597 г.) Галилей сообщил, что он уже в течение многих лет является сторонником учения Коперника и уже собрал множество доказательств, опровергающих господствующие в обществе взгляды, но не решается их опубликовать, чтобы не вызвать потока насмешек над «нашим учителем» — Коперником [4]. «Решайтесь,— ответил ему Кеплер,— выступим одновременно. Дружными усилиями мы сдвинем этот экипаж. Своими доказательствами Вы поможете тем из наших сторонников, которые теперь еще придерживаются неправильных суждений. Я думаю, что очень немногие из знаменитых математиков Европы будут против нас, так как могущество истины велико» [5].

Галилео Галилей (1564—1642), следуя за Бенедетти и Дель Монте, уже пришел к правильным взглядам на законы движения, действующие при падении, бросании и вращении тел. Теперь они были обоснованы и логически и экспериментально, как, например,

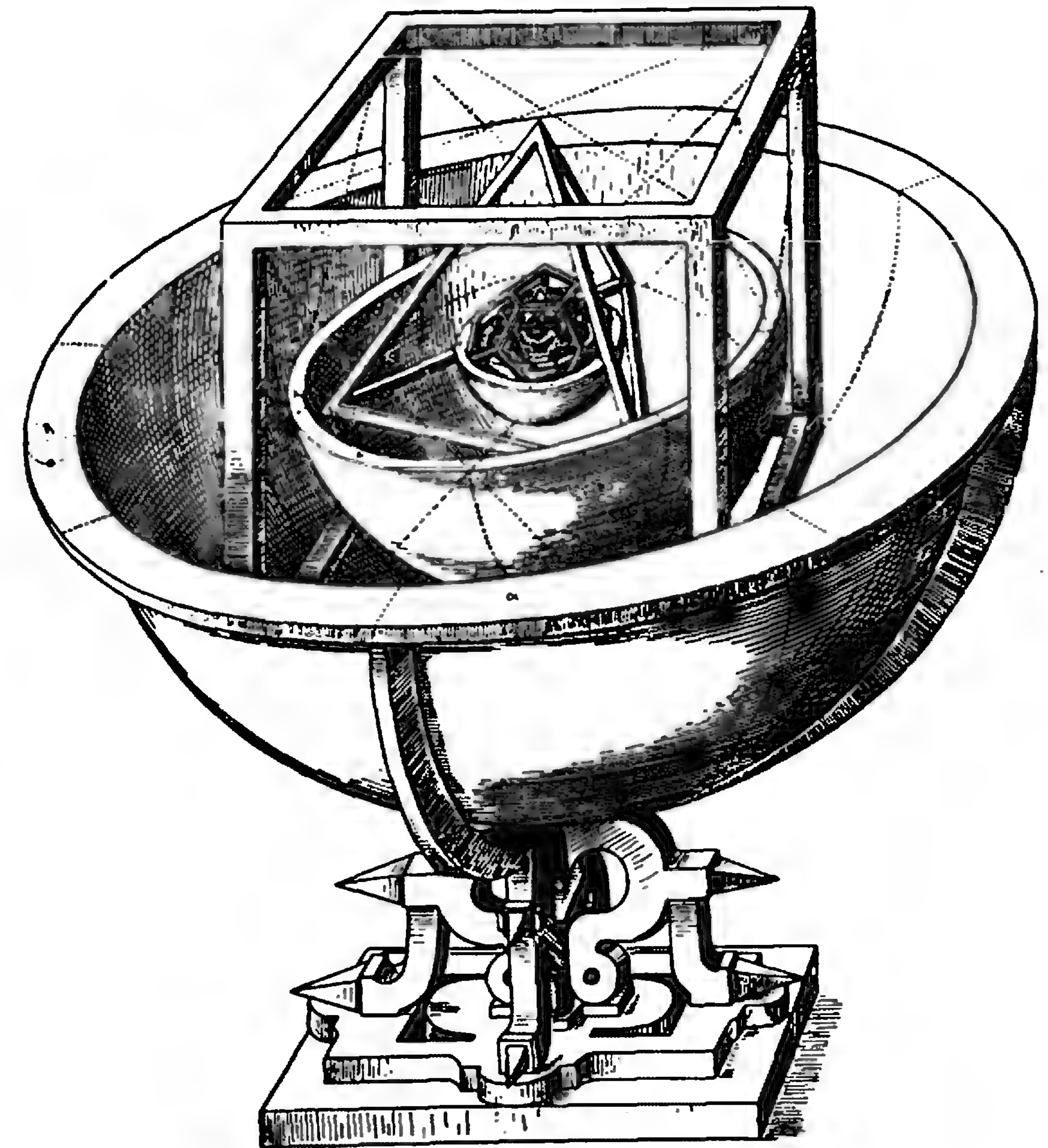


Рис. 31. Модель вселенной Кеплера.

колебательное движение маятника. Благодаря этому он смог понять всю ничтожность возражений против быстрого движения земной поверхности. Однако на его академических лекциях это еще не отразилось; там он, следуя предписаниям, давал только учение о небесных телах и теорию Птолемея, включая и доказательства против движения Земли. Но в 1602 г. вышла из печати книга Тихо «Progymnasta» с сообщениями о новой звезде 1572 г. Когда в

1604 г. в южной части созвездия Змееносца появилась новая сверкающая звезда, Галилей не смог удержаться в некоторых изданиях своих публичных лекций от указаний на то, что эти явления полностью опровергают аристотелевское учение о неизменности надлунного мира звезд.

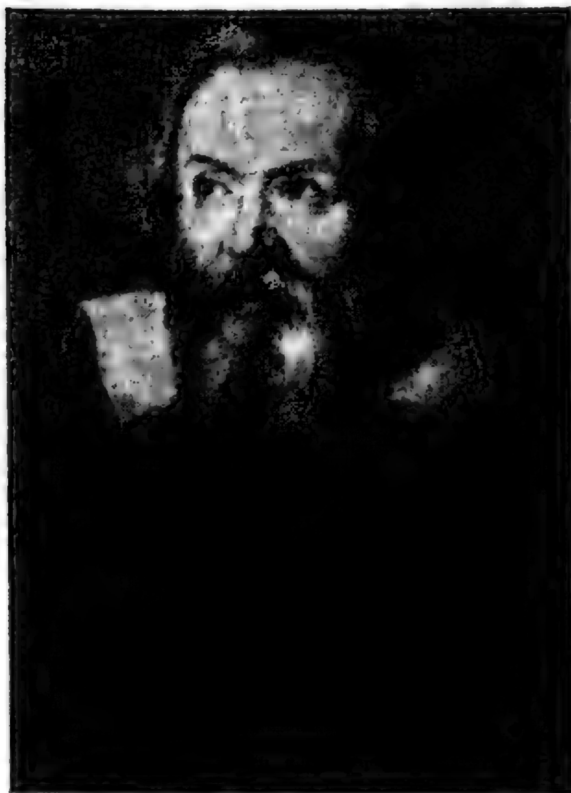


Рис. 32. Галилео Галилей.

В 1608 г. в Европе появились первые телескопы. История их изобретения точно не известна. По-видимому, Захариас Янссен из голландского города Миддельбурга изготовил в 1604 г. один телескоп, скопировав его с экземпляра, принадлежащего неизвестному итальянцу. Предположения или намеки на возможность комбинирования линз время от времени появлялись и раньше. Янссен был торговцем очковыми стеклами. Он торговал на ежегодных ярмарках в Германии, а возможно, и в других местах. В 1608 г. Липперсгей, шлифовальщик очковых стекол из Миддельбурга (родом из Веселя), предложил телескоп принцу Морису Оранскому и Генеральным штатам Голландии, стремясь получить патент на изобретение. Вскоре после него такую же заявку сделал Метиус из Алкмара. Слухи о телескопе распространились повсюду, и на основании этих слухов Галилей сделал для себя один экземпляр, который он и демонстрировал в 1609 г. в Венеции. Затем он стал направлять свои непрерывно улучшавшиеся телескопы, дававшие все большее увеличение, на Луну и звезды, что быстро привело к ряду удивительных открытий, привлекших всеобщий интерес к учению Коперника. Сначала Галилей делился своими открытиями в письмах, которые распространялись среди знакомых и коллег, а затем опубликовал их в сочинении «Sidereus Nuncius» («Звездный вестник»), вышедшем в марте 1610 г. и вызвавшем сильное волнение в ученых кругах.

На Луне Галилей увидел, что граница между светлой и более темной частью не является сплошной; светлые пятнышки во время новолуния у границы в более темной части поверхности становились все больше и наконец сливались с освещенной частью. По-видимому, это были освещаемые Солнцем вершины гор (рис. 33). Следовательно, поверхность Луны была не хрустальной, а подоб-

ной земной, с горами и долинами. Однако кольцевые валы (цирки) представляли собой образования, отличные от земных. В телескоп планеты (тусклые кружки с отчетливо протяженной поверхностью) выглядели совершенно иначе, чем звезды (ярко сверкающие светлые точки), которые представлялись лишь более яркими, чем для невооруженного глаза. Туманности и Млечный Путь оказались состоящими из маленьких звездочек, и, кроме того, повсюду между знакомыми звездами виднелись слабенькие, незаметные для невооруженного глаза звезды. 7 января 1610 г. он заметил с обеих сторон Юпитера, вдоль линии эклиптики, 3 звездочки, а 13 января еще и четвертую; они сопровождали Юпитер, образуя каждый следующий вечер новую конфигурацию, перемещаясь взад и вперед. В письме от 30 января он истолковал их как новые планеты, которые движутся вокруг большей планеты, и в честь великого герцога Тосканского назвал их «медицейские звезды». То обстоятельство что они казались небесными телами, движущимися по своим орбитам вокруг Юпитера как центра, показывало, что Земля не должна быть центром всех круговых движений, и служило, таким образом, опорой для учения Коперника.



Рис. 33. Два рисунка Луны, сделанные Галилеем.

Эти открытия вызвали неслыханную сенсацию — удивление и радость друзей и сторонников, ученых и неспециалистов, а еще более — сомнение и противодействие. Профессора философии, которые сочли себя задетыми в своей собственной области (Падуанский университет считался прочным оплотом учения Аристотеля), объявили Галилею непримиримую борьбу. Во многих сочинениях существование этих блуждающих звезд опровергалось логическими доказательствами: поскольку о них не упоминалось у Аристо-

теля, они не могли существовать. Когда Галилей на публичном диспуте попытался убедить своих падуанских коллег фактами, они отказались смотреть в его телескоп,— по их мнению, это было оптическим обманом, иллюзией. Что касается двух ведущих астрономов Италии, то один из них, старый патер Клавий, отделался шуткой, а другой, Маджини из Болоньи, почтенный корреспондент Тихо и Кеплера, завидуя своему младшему коллеге, распространял письма, в которых он высказывал сомнения по поводу наблюдений и выводов Галилея, объявляя их обманом и самообманом.

Когда Галилей в марте показывал в телескоп множеству собравшихся у Маджини в Болонье профессоров Юпитер и его спутники, почти все они утверждали, что ничего не видели, и этот отрицательный результат получил широкую огласку. Это было не только упрямством: существовало и действительное препятствие — нельзя наблюдать в телескоп, не имея навыка к таким наблюдениям. К тому же телескопы были еще в высшей степени примитивными, они давали искаженные по форме изображения с цветными краями, не идущие ни в какое сравнение даже с изображениями, которые дает современный театральный бинокль. Открытия, проложившие дорогу новой системе мира, явились результатом величайшего напряжения и осторожности при наблюдениях; то, что было установлено таким образом, приходилось отстаивать в трудной борьбе, прежде всего с собственным сомнением, а затем — с трудно преодолимым и часто принимаемым на веру учением, устаревшим, но все еще властвовавшим над умами людей.

Кеплер в Праге восторженно поддержал Галилея. Сразу же после выхода Nuncius он опубликовал открытое письмо, в котором изложил свои мысли о нем. В письме говорилось, что идея об изготовлении телескопа для изучения небесных тел никогда не приходила ему в голову потому, что он полагал, что толстый слой голубой атмосферы помешает рассмотреть детали далеких звезд. Но теперь Галилей показал, что пространство заполнено лишь тончайшей, ничего не создающей субстанцией. Он указал также на то, что его друг Писториус еще раньше уверял его в возможности значительно более точных измерений при помощи инструментов. Затем он перешел к рассмотрению следствий, вытекавших из новых открытий, пофантазировал о возможных жителях Луны и о явлениях, наблюдающихся на Юпитере с его четырьмя лунами. Его всегда пугала «ужасающая философия» Бруно, учившая о бесконечности мира с бесчисленными другими солнечными системами. Теперь же, в открытых Галилеем бесчисленных маленьких звездочках, он увидел доказательство того, что Солнце не является уникальным светилом, далеко превосходящим все другие звезды по мощности излучения. Таковы были его мысли о новых открытиях.

Хотя Кеплер и полностью доверял истинности галилеевских наблюдений, сам он еще не видел спутников Юпитера, и сообщения из Болоньи обеспокоили друзей Галилея в Праге. Кеплер не был хорошим наблюдателем; зрение у него было плохое, он не умел обращаться с инструментами и сам никогда не пробовал делать телескоп. Голландские зрительные трубы, попадавшиеся кое-где в Германии, не давали возможности увидеть медицейские звезды — их увеличение было слишком мало. По Галилею же для этого было необходимо увеличение в 20 или 30 раз, а шлифовка хороших линз была в то время еще сложным искусством. Только в сентябре Кеплеру удалось впервые посмотреть в хороший телескоп, принадлежавший одному из его гостей. Но определение законов движения медицейских звезд показалось ему в высшей степени трудной, почти неразрешимой задачей. В следующие месяцы их наблюдали также во Франкфурте и в Англии (Харриот). А когда год подошел к концу, наблюдателям из Коллегии иезуитов в Риме также удалось улучшить телескопы и увидеть эти звезды. Наконец в декабре Клавий написал Галилею, что он и его коллеги убедились в существовании новых планет [6].

Между тем за прежними последовали также и новые открытия. Зашифрованно, в виде буквенной шарады, которая была раскрыта позднее (для того, чтобы сохранить свой приоритет), Галилей сообщил в июле 1610 г., что Сатурн был виден утроенным, сопровождавшимся с обеих сторон маленькими неподвижными планетами. Для нас это является свидетельством несовершенства телескопов Галилея. В декабре Галилей объявил, что Венера имеет такие же фазы, как Луна. Некоторые сторонники Коперника ожидали и предсказывали подобные явления. Другие же, в том числе и Кеплер, считали, что планеты частично испускают и собственный свет. В своих письмах Галилей подчеркивал, насколько вытекающий отсюда вывод о том, что планеты — темные тела, подтверждает истинность коперниканской системы мира.

В рапорте главе инквизиции кардиналу Беллармину Клавий подтвердил истинность открытий Галилея. При этом, однако, наблюдавшиеся на Луне явления он объяснял тем, что в хрустальном теле Луны были более темные и более светлые части, а кроме того полости. Поэтому генерал Ордена иезуитов приказал членам своего ордена придерживаться учения Аристотеля и защищать его насколько возможно. Подтверждались только сами наблюдавшиеся явления, объяснение же их с позиций гелиоцентрической системы мира, которое было особенно близко Галилею, Клавий и его собратья по ордену не признавали. Незадолго до своей смерти Клавий писал, что теперь астрономы должны были видеть, при помощи какой структуры небесных сфер можно было

объяснить эти явления, но это, однако, не означало принятия галилеевой теории. И действительно, ни горы на Луне, ни луны Юпитера, ни серповидная форма Венеры не могли дать строгого доказательства движения Земли.

Галилей не остался единственным путешественником на этих новых путях. Телескопы появились в руках многих исследователей и использовались для тщательного изучения неба. Наблюдения привели к распространению убеждения в реальности новых явлений и к новым открытиям. Это, однако, порождало множество споров о приоритете в новых открытиях и их интерпретации. Галилей, вполне естественно, считал это поле действия своим, но другие, столь же обоснованно, претендовали на честь его освоения.

В календаре на 1611 г., а затем в опубликованной в 1614 г. книге «Мир Юпитера» Симон Мариус (Майер) из Аншпаха рассказывает, как в 1609 г. он купил голландский телескоп, направил его на звезды и постепенно стал осознавать важность того, что он увидел. Он независимо открыл спутников Юпитера и начал наблюдать их чуть позже Галилея, который впоследствии горячо обличал Мариуса, обвиняя его в плагиате и доказывая, что тот в действительности не видел новых звезд. Независимое открытие, конечно, невозможно доказать. Но из своих последних наблюдений Мариусу удалось вывести более точные, чем у Галилея, значения для периодов обращения и других элементов их орбит.

В то же время произошло и открытие солнечных пятен. Правда, и раньше бывало, что исключительно большое пятно удавалось заметить на поверхности затуманившегося Солнца или на изображении Солнца, спроектированном через небольшое отверстие. Однако теперь стали возможными регулярные поиски и наблюдения, сначала произведенные при телескопическом изучении Солнца в те моменты, когда оно было наиболее тусклым,— при утреннем и вечернем тумане. Первое публичное сообщение о пятнах летом 1611 г. сделал Иоганн Фабрициус из Эмдена, сын друга Кеплера Давида Фабрициуса. Галилей уже показывал их во время своего визита в Рим весной того же года. В то же время были начаты исследования Хр. Шейнера, иезуита из Ингольштадта, которому помогал его ученик Цизат. Результаты этих исследований были опубликованы в следующем году. Начальство предупредило Шейнера, чтобы он не доверял своим наблюдениям, потому что о них ничего не говорилось у Аристотеля. Таким образом, Шейнеру пришлось опубликовать свою работу анонимно, и для того, чтобы не вступать в конфликт с Аристотелем, он заявил, что пятна — это вращающиеся вокруг Солнца маленькие темные тела. Галилей (как и Фабрициус) считал пятна принадлежащими самому Солнцу и на основании их движения вывел период его обращения вокруг оси. Критикуя публикации Шейнера в книге: «История и доказательства существования солнечных пятен», которую друзья Галилея распространяли в 1613 г. в Риме, он резко нападал на все учение Аристотеля в целом.

Сцена борьбы теперь изменилась. Предметом спора были не наблюдения, а их истолкование, не практика, а теория. После возвращения из триумфальной поездки в Рим, Галилей постепенно осознавал, что условия изменились. Его друзья, которые раньше с энтузиазмом приветствовали его открытия, теперь стали осторожными и советовали ему удовольствоваться завоеванной победой. Только Кампанелла, писавший ему из тюрьмы, упорно настаивал на том, чтобы Галилей твердо защищал Коперника. Сам Галилей считал свои телескопические открытия лишь вспомогательным средством для достижения конечной цели — доказательства истинности гелиоцентрической теории.

Борьба сосредоточилась теперь на коперниканской системе, т. е. на движении Земли. Галилей считал, что он нашел прямое доказательство этого движения в явлениях приливов. Кеплер считал их результатом действия Луны, а Галилей пытался объяснить их за счет неравномерностей в скорости земной поверхности. Эта скорость представляет собой комбинацию суточного и годичного обращений. На ночной стороне Земли эти скорости складываются, а на дневной стороне, обращенной к Солнцу, они вычитаются. Это,— говорил Галилей,— и заставляет колебаться воду океанов. Пренебрегая очевидной зависимостью приливов от Луны, он думал найти в приливах доказательство движения Земли. Оно не было убедительным, так как по его теории высокий и низкий прилив должен был происходить только один раз в сутки.

Настоящая борьба началась и в области теологии. Неизвестные монахи пророчествовали в церквах против новой теории как еретического учения, противоречащего библии, и стали подавать инквизиции жалобы на Галилея. Он же, со своей стороны, изложил в нескольких письмах, получивших широкое распространение, эти места из библии и интерпретировал их с точки зрения нового учения. Правда, Галилей нашел сторонников и среди духовенства. Кармелитский монах Фоскарини в опубликованном письме к генералу своего ордена защищал систему Коперника при помощи убедительных аргументов.

Галилей снова ездил в Рим, сначала для того, чтобы снять с себя обвинение в ереси. Действительно, он был благочестивым католиком, всегда заявлявшим в своих сочинениях, что он признает истинным то, что провозгласила таковым церковь «в своей глубоко божественной проницательности». Однако в то же время Галилей считал, что теологи, прежде чем принимать какое-либо решение, должны хорошо ознакомиться с работой Коперника. Галилею легко удалось оправдаться от обвинений в ереси. Более

сложной оказалась вторая задача — убедить в своей правоте влиятельных особ и облеченных властью кардиналов. Он доказывал, что между открываемой истиной и истиной, существующей в природе, не может быть конфликта. Так, когда последняя, т. е. существующая в природе истина, ясно подтверждается фактами и не может быть изменена каким-либо истолкованием, то первая, т. е. толкование священного писания, должна «подгоняться» к ней. Однако доказательство, представлявшееся столь логичным, не оказало влияния на духовенство, твердо придерживавшееся церковного учения, так как результаты, полученные естествоиспытателями, не были для них доказательством истины. Для них дело обстояло так, что если церковь не занимала твердой позиции изданием ясного вердикта, следовало начинать непримиримую дискуссию между духовенством и мирянами относительно толкования библейских текстов. А это было совершенно несовместимо со строгой дисциплиной учения, которое они, впрочем, поддерживали. Таким образом, результат не вызывал сомнений; церковь должна была высказаться против движения Земли. При этом характерна неряшливая, неточная передача учения Коперника в отчете докторов теологии и вердикте двора (25 февраля 1616 г.). Что касается первого тезиса: «Солнце является центром мира и совершенно неподвижно на своем месте»,— то он был объявлен ложным, философски абсурдным и формально еретическим. Относительно второго тезиса: «Земля не является центром мира и не неподвижна, а движется относительно себя суточным движением»,— было сделано то же самое заключение с точки зрения философии. С точки зрения теологии этот тезис был объявлен ошибкой веры. Эти словесные упражнения достаточно убедительно показывают невежество или недобросовестность судей. Галилей предстал перед кардиналом Беллармином, который объявил ему, что учение о движении Земли нельзя ни преподавать, ни считать истинным. С этим учением можно было иметь дело как с математической гипотезой. Галилея убеждали, чтобы он отказался от учения о движении Земли, под чем он и подписался. На основании этого вердикта Конгрегация Индекса 5 марта 1616 г. решила, что книги Коперника и все другие сочинения, излагающие те же самые идеи, следует временно изъять и запретить до тех пор, пока они не будут исправлены.

Все сочинения и исследования Галилей направлял теперь против ставшего шатким учения Аристотеля о природе, так как он не мог больше открыто защищать Коперника. Галилей пытался еще несколько раз при следующем дружески расположенном к нему римском папе Урбане VIII добиться пересмотра этого запрещения, но тщетно. Наконец, это стало для него непосильным, и он заявил о своих взглядах в форме, где прежнее учение излагалось нарав-

не с запрещенным церковью учением и был сделан упор на доказательство в пользу новой системы мира. Его литературный и драматический талант и лекторское искусство сделали вышедшую в 1632 г. на итальянском языке работу «Диалог о двух основных системах мира» весьма популярной; в ней аристотелевское естествознание было подвергнуто уничтожающей критике.

Эта книга, проливавшая свет на вопросы, усиленно обсуждавшиеся в то время, была с энтузиазмом встречена друзьями Галилея и всеми передовыми учеными. Но представители церкви решили начать атаку на Галилея, хотя ему и было уже дано официальное разрешение на печатание книги. Они не дали ввести себя в заблуждение внешней формой подчинения авторитету церкви. Смысл, стоящий за этими словами, был достаточно ясен. Давало себя чувствовать также и влияние отдельных лиц. Ученые иезуиты, уязвленные суровой критикой Галилея в адрес их сочинений, сочли себя оскорбленными, так как ученость составляла гордость всего их ордена. Они начали действовать против Галилея, и им удалось добиться того, что папа стал личным врагом Галилея. В результате всех этих интриг ученый был вызван на суд инквизиции. Формально Галилей был прав, потому что ему было разрешено публично обсуждать учение Коперника как гипотезу. Но все-таки он был осужден за непослушание, по-видимому, на основании подложного документа, и был вынужден в 1635 г. торжественно отречься от гелиоцентрического учения. Современный астроном-католик профессор И. Плассман из Мюнстера (1898) назвал это событие «самой роковой ошибкой, которую когда-либо допускали церковные власти относительно науки» [7].

В XVII в. появилось еще множество сочинений за и против учения Коперника, причем противники чаще всего придерживались системы Тихо. Однако среди естествоиспытателей сомнение и противодействия возникали все реже. Церковный запрет, конечно, не смог остановить развитие науки. Правда, он сделал исследователей в католических странах более осторожными во взглядах и мешал им высказываться по поводу новых идей. Так, еще в 1762 г. вышедшему из печати основному труду Ньютона было предпослано предисловие двух отцов миноретов, в котором говорилось о том, что описанное здесь движение Земли рассматривается как гипотеза и что автор придерживается церковного запрета. Однако в XVIII в. преследование в основном прекратилось, и новое учение о мире распространилось в широких кругах народа. После неоднократных попыток добиться снятия запрета в 1822 г. он был наконец снят, и с 1835 г. сочинения Коперника, Кеплера и Галилея не включались больше в индекс запрещенных книг. Так закончилась поражением попытка церкви остановить развитие науки, опираясь на авторитет своего учения.

ГЛАВА 23

КЕПЛЕР

В своем первом сочинении «Mysterium Cosmographicum», привлекшем внимание Тихо Браге, Кеплер проявил несомненную самостоятельность мышления, знание астрономии, а также искусность и упорство в вычислениях. Тихо пригласил его к себе, но это стало возможным лишь тогда, когда Тихо обосновался в Праге, а Кеплер, в связи с изгнанием всех протестантов из Штирии, был вынужден искать пропитания в другом месте. Тихо добился того, что в 1601 г. Кеплер был приглашен на службу к Рудольфу II в качестве «королевского математика» и разрабатывал по его указанию дальнейшие планы наблюдения планет для составления новых планетных таблиц. После смерти Тихо [в 1602 г.], когда были сделаны лишь первые шаги в их совместной работе, преодолев сопротивление наследников Тихо, Кеплер получил его наблюдения для завершения поставленной им задачи.

В Кеплере, человеке нового поколения, проявились черты, характерные для нового времени. Вера в астрологию как представление о единстве мира была у него еще достаточно сильной, но это уже были не робкие взгляды на небо, где звезды предопределяли судьбу человечества, а значительно больше — страстное стремление проникнуть в сущность этого единства. Как и во многих его современниках, в нем жил дух исследования, неиссякаемой любознательности, стремления к познанию всего мира, желание проникнуть в тайны природы.

Однако любознательность Кеплера следует понимать не как современное трезвое стремление к исследованию природы, а как интуитивное чувство удивления перед всем космосом, материально и духовно глубокая связь со всеми столь таинственными созданиями человеческого ума как теория чисел, геометрия, музыка. Это и проявилось уже в первом его сочинении. Его астрология также была весьма своеобразной. Он насмехался над верой в то, что названия, данные звездам и созвездиям в древности, могут быть причиной ныне наблюдающихся явлений. Однако он допускал, что соединения планет могут влиять на земные события точно так же, как Солнце и Луна. Кеплер был прежде всего мыслителем с физическим складом ума; он, естественно, искал причину и взаимосвязь всех явле-

ний, изумляя нас то вполне современным мнением, то совершенно ошибочным. Предшествующее поколение, встретившись с новым явлением, спрашивало: что это значит? Поколение Кеплера больше всего интересовалось тем, что это такое и почему происходит?

В работе по астрономической оптике («Astronomiae pars optica») в 1604 г. Кеплер объяснил преломление лучей иначе, чем Тихо, а именно переходом света из разреженного эфира в воздух, составляющий атмосферу. Таким образом, он пришел к выводу, что рефракция должна проявляться повсюду, начиная с зенита, и одинаково для всех небесных тел. Ему не удалось найти закон преломления света экспериментально, это исследование было выполнено Снеллиусом в Лейдене (1620); однако уже сформулированные им основные положения позволили составить лучшую, чем у Тихо, таблицу изменения рефракции с высотой звезды.

Так же как Бруно и Джильберт, Кеплер еще до изобретения телескопа считал Луну темным телом, подобным Земле, с высокими горами. Он писал также о полутени, наблюдающейся во время лунных затмений, и объяснил красноватый цвет полностью затмившейся Луны преломлением солнечного света в земной атмосфере. Здесь он отстаивал данное Местлином объяснение пепельного света Луны (наблюдаемого в период появления молодого серпа) отражением солнечных лучей от Земли. Яркой новой звезде, появившейся в октябре 1604 г. вблизи Юпитера, Сатурна и Марса в «огненном» знаке Стрельца (после их соединения), Кеплер посвятил в 1606 г. (после того, как она стала слабеть и исчезла) сочинение, в котором рассматривались как физическая сущность новой звезды, так и ее астрологическое значение. В этой работе Кеплер сравнивал блеск (мерцание) звезд со сверканием вращающегося алмаза. Лучшее объяснение колебаний воздуха было дано уже Дж. Скалигером.

Все это были второстепенные занятия, по которым, однако, можно проследить общее устремление его мыслей, направленных на изучение небесных тел. Основная же его работа состояла в вычислении и обработке планетных наблюдений Тихо. С 1601 г. он занялся Марсом, при объяснении движения которого перед Лонгомонтаном возникли значительные трудности (как раз перед приездом Кеплера в Прагу). Кеплер приступил к составлению полного списка моментов, долгот и широт для всех противостояний планеты с 1580 г. Отсюда начался его самостоятельный путь в науке. Коперник, следуя Птолемею, считал центр земной орбиты истинным центром всех планет, а Тихо, присоединившись к этому, определял противостояние планеты как положение, противоположное этой точке, т. е. среднему Солнцу. Кеплер уже в первой своей работе указывал, что Солнце само является естественным центром

планетной системы, и считал, что противостояние следует брать по отношению к реальному, а не среднему Солнцу. Это было первым значительным видоизменением и упрощением прежних методов исследования.

Противостояния, выведенные по наблюдениям Тихо и пополненные за счет его собственных наблюдений и наблюдений его друга Давида Фабрициуса из Эмдена 1602 и 1604 гг., приведены в следующем списке[1] (см. таблицу на стр. 255).

Вариации в угловой скорости, достаточно большие в области созвездия Водолея (долгота 330°) и незначительные вблизи созвездия Льва (долгота 150°), заметны уже с первого взгляда. Птолемей представлял эту вариацию, вводя *уравнивающую точку* (punctum equans) и помещая центр круга посередине между этой точкой и Землей (ура́внивающую точку здесь следовало бы заменить Солнцем). Кеплер хотел проверить, точно ли результаты Тихо представляют это деление пополам. Птолемею для вычисления орбиты были необходимы три противостояния. Так как Кеплер должен был определить одно дополнительное неизвестное, а именно отношение частей деления полного эксцентриситета центром круга, ему необходимы были 4 уравнения. Для четырех выбранных моментов (противостояний 1587, 1591, 1593, 1595 гг.) он знал направления на Марс, как он виден с Солнца, а также направления на Марс, как он виден из уравнивающей точки, так как эти направления возрастают прямо пропорционально прошедшему времени. Задачу нахождения по этим данным направления линии апсид (долготы афелия) и двух расстояний от центра круга до Солнца и до экванта нельзя решить прямым методом. Кеплер вынужден был решать ее, пробуя различные расположения, методом последовательных приближений. «Если этот обременительный способ работы Вам не нравится,— писал он, обращаясь к читателю,— Вы можете справедливо пожалеть меня, поскольку я вынужден был проделать это по меньшей мере 70 раз с большой затратой времени. Поэтому Вы не удивитесь тому, что прошло уже 5 лет с тех пор, как я начал заниматься Марсом... Остроумные геометры, вроде Виеты, могут показать, что мой метод еще далек от искусства... Им можно решать задачу геометрически. Мне же достаточно... найти выход из этого лабиринта. Вместо факела геометрии я располагаю лишь простой нитью, которая ведет меня к выходу»[2].

Результатом этих вычислений были: полный эксцентриситет, равный 0,18564 долям радиуса, причем Солнце отстоит от центра на 0,11332, эквант — на 0,07232, а долгота афелия (для 1587 г.) составляет 148°48′55″. Современная теория показывает, что оба расстояния должны быть приблизительно равны $^9/_{16}$ и $^7/_{16}$ полного эксцентриситета. Как точно эти элементы представляют данные, можно видеть из таблицы (приведенной на стр. 255), где разности,

ПРОТИВОСТОЯНИЯ МАРСА

Дата	Время	Долгота	Широта	Вычисленная долгота	Разность	Вычисленная широта
1580, ноябрь 18	ч м 1 31	66°28′35″	+1°40′	66°28′44″	—0′9″	$+1°45\frac{1}{2}'$
1582, декабрь 28	3 58	106 55 30	+4 6	106 57 4	—1 34	$+4\ 3\frac{1}{3}$
1585, январь 30	19 14	141 36 10	$+4\ 32\frac{1}{6}$	141 37 46	—1 36	$+4\ 30\frac{1}{2}$
1587, март 6	7 23	175 43	+3 41	175 43 16	—0 16	+3 37
1589, апрель 14	6 23	214 24	$+1\ 12\frac{3}{4}$	214 26 12	—2 12	$+1\ 5\frac{1}{3}$
1591, июнь 8	7 43	266 43	—4 0	266 43 51	—0 51	$-3\ 59\frac{1}{6}$
1593, август 25	17 27	342 16	—6 2	342 16 42	—0 42	$-6\ 3\frac{3}{4}$
1595, октябрь 31	0 39	47 31 40	+0 8	47 31 54	—0 14	$+0\ 5\frac{1}{5}$
1597, декабрь 13	15 44	92 28	+3 33	92 28 3	—0 3	+3 20
1600, январь 18	14 2	128 38	$+4\ 30\frac{5}{8}$	128 38 18	—0 18	$+4\ 30\frac{1}{4}$
1602, февраль 20	14 13	162 27	+4 10	162 25 13	+1 47	$+4\ 7\frac{2}{5}$
1604, март 28	16 23	198 37 10	+2 26	198 36 43	+0 27	$+2\ 18\frac{2}{5}$

остающиеся между наблюдением и вычислением, даны в шестой колонке. «Так я установил, что положения противостояния были получены в результате этого вычисления с той же самой точностью, что и наблюдения на тиховом секстанте, который благодаря значительному диаметру Марса и неудовлетворительному знанию рефракции и параллакса действовал с некоторой ошибкой, конечно, не превосходящей двух (первых) минут» [3]. Такими словами заканчивалась 18 глава книги Кеплера.

Начиная следующую главу книги, Кеплер так описывает в ней свои поиски: «Как же это могло быть! Гипотеза, которая хорошо согласуется с наблюдениями противостояний, все же ошибочна» [4]. Все то, что Птолемей установил на основании изменения видимой величины эпицикла (а именно то, что центр круга делил полный эксцентриситет на две равные части), Кеплер подтвердил сразу же, как только начал вычислять действительные расстояния Солнца при помощи широт, полученных из наблюдений. С другой стороны, вычисляя противостояния в случае бисекции полного эксцентриситета (т. е. деления его на две равные части), Кеплер нашел для 1582 г. долготу в $107°4^3/_4'$, с отклонением от предыдущего вычисления примерно на 8′, а от предыдущего наблюдения — на 9′. «Очевидно, из-за этого небольшого отклонения в 8′ Птолемей не мог согласиться со своим делением эксцентриситета, ... хотя он и не дошел до предела точности в $^1/_6°$ или 10′... Нам же, благодаря милосердию божию, дан в лице Тихо Браге такой добросовестный наблюдатель, что в его наблюдениях ошибка в 8′, характерная для птолемеева вычисления, попадается лишь для того, чтобы мы с благодарностью оценили эту милость и воспользовались ею. Наконец, это затруднение дает нам возможность найти истинный вид небесных движений. ...Таким образом, эти 8′ указали путь к обновлению всей астрономии, они явились материалом для большей части данной работы» [5].

Загадка, которую следовало разгадать, была такова: неравное деление эксцентриситета не может быть удовлетворительным, однако оно превосходно дает все долготы; под именем «гипотезы замещенных мест» он использовал это деление эксцентриситета для вычисления в любом случае необходимых значений долготы Марса, наблюдаемого с Солнца. Равное же деление вносит неприемлемо большую ошибку в долготы. Здесь он применил мощное вспомогательное средство, явившееся основой всей его работы, — определение расстояний при помощи тригонометрических формул. На основании обширного наблюдательного материала Тихо он мог получить для любого взятого момента времени направление с Земли на Марс. «Гипотеза замещенных мест» дала ему направление на Марс с Солнца. Из наблюдений и основанной на них теории он узнал для любого момента времени направление Земля—Солнце. Таким

образом, в треугольнике с вершинами в Солнце, Земле и Марсе были известны направления трех сторон, а значит и углы, которые они составляли друг с другом. Следовало вычислить отношение трех сторон, т. е. три расстояния. Расстояние Солнце — Марс было найдено при помощи такого подбора наблюдений, разделенных точно кратным числом лет, что расстояние Земля — Солнце оставалось все время неизменным. Взяв наблюдения, разделенные интервалами времени, равными полному числу обращений Марса, Кеплер получил фигуру земной орбиты по вариациям расстояний Земля — Солнце.

Теперь он прежде всего и занялся ее исследованием. Это было необходимо не только из-за того, что ошибки в фигуре земной орбиты могли исказить точность вычислений Кеплера относительно Марса, но также и потому, что по Птолемею и Тихо Земля не должна была иметь экванта, хотя как планета она не должна была отличаться от других планет. Применяя тригонометрический метод к наблюдениям, в которых Марс занимал одно и то же место, Кеплер нашел, что эксцентриситет земной орбиты равен 0,01837 (пять десятичных знаков являются не указанием на точность, а лишь следствием того, что Кеплер всегда брал радиус равным 100,00 вместо того, чтобы писать десятичные знаки). Так как флуктуации в угловой скорости дали Тихо эксцентриситет, равный 0,03584, т. е. вдвое больший, чем у Кеплера, оказалось, что Земля также имеет эквант. Это позволило ему составить таблицы, дававшие точные расстояния и долготы Солнца. Кеплер, точно вычислив расстояния от Марса до Солнца, нашел, что наибольшее расстояние (в афелии) составляет 1,6678, а наименьшее (в перигелии) 1,3850 радиуса земной орбиты. Тогда радиус орбиты Марса получался равным 1,5264, а расстояние Солнца от центра орбиты Марса 0,1414 : 1,5264 = 0,0926, т. е. точно половину полного эксцентриситета 0,18564, выведенного из движения Марса.

Таким образом, из наблюдений было установлено, что полный эксцентриситет планет делится центром орбиты на две равные части между Солнцем и эквантом. Однако Кеплер как мыслитель с физическим уклоном не мог примириться с мыслью, что движением планет должна управлять пустая точка, в которой нет никакого тела.

По старым представлениям планета движется медленнее в афелии и быстрее в перигелии потому, что в первом случае она ближе, а во втором — дальше от экванта. Но в том же самом отношении в первом случае планета дальше от Солнца, а во втором случае — ближе к нему. Это указывает на то, что Солнце регулирует скорость планеты. Скорость обратно пропорциональна расстоянию. Логика этого случая стала понятна Кеплеру: [подобно тому, как груз труднее поднимать, если он находится на более

длинном плече рычага, так и] планету исходящей из Солнца силе труднее перемещать на бо́льшем расстоянии от него, чем на меньшем. Теперь Солнце еще больше повысилось рангом, чем у Коперника. Оно стало не только источником света и тепла для всей планетной системы, но также и источником движущей их силы, однако несколько иным образом. Тогда как свет распространялся во все стороны — вверх, вниз, вправо и влево, и ослабевал прямо пропорционально квадрату расстояния, сила Солнца влияла на планеты только вдоль зодиакального круга и действовала обратно пропорционально расстоянию. Когда спрашивали, какова природа этой силы, Кеплер указывал на вращение Солнца вокруг своей оси и полагал, что она подобна магнетизму, который является направленной силой, действующей так, как если бы магнит состоял из нитей или волокон. Солнце также не притягивает планеты (если бы это было так, они должны были бы упасть на Солнце), а направляет их движение посредством боковой силы так, как будто бы она состояла из кольцевых магнитных полей. Это — даже более чем аналогия, так как Джильберт открыл, что Земля, которая таким же образом направляет движение Луны по своей орбите, является магнитом.

Все эти рассуждения показывают, что Кеплер был не просто астрономом-вычислителем; для него было важным понимание физической природы вещей. Его размышления напоминают идеи, получившие развитие лишь позднее, в XVII в. Они явились результатом новых стимулов исследования, намного превосходивших бесплодную схоластику предыдущего века, которая еще господствовала на академических кафедрах. Из-за того, что Кеплер ясно говорил о силе, исходящей из Солнца, его иногда называют (и неправильно, как мы увидим) предшественником Ньютона. Скорее его можно назвать предшественником натурфилософии XVII в. То, что в декартовой теории вихрей появилось как неопределенная философская спекуляция, у Кеплера сохраняло свежесть непосредственного заключения, навязанного фактами эксперимента.

Разумеется, верно, что Кеплер, пытаясь объяснить остающиеся вопросы, ссылался на планеты так, как если бы они играли активную роль. Он говорил о «духе» или «сущности» планеты, которая должна была зависеть от видимых размеров Солнца. Эти высказывания были также неясны и противоречивы. Но гораздо важнее то, что он разработал новый метод вычисления. Время, необходимое для того, чтобы планета описала небольшую часть орбиты, обратно пропорционально скорости и прямо пропорционально расстоянию планеты от Солнца. Следовательно, чтобы получить время, необходимое для того, чтобы планета описала бо́льшую дугу, надо суммировать все пройденное расстояние. Это была задача сложе-

ния: «Если мы не найдем полную сумму всех этих отрезков дуги, число которых бесконечно, мы не сможем указать и время каждого из них» [6]. Кеплер первым решил задачу численного интегрирования; но тогда для суммирования он заменил все расстояния площадью между предельными радиусами. Хотя, строго говоря, это не одно и то же, соответствие оказалось достаточно хорошим. Площадь можно было легко подсчитать как разность площадей сектора круга и треугольника. Впоследствии это правило было сформулировано как второй закон Кеплера — *закон площадей:* радиус-вектор описывает равные площади за равные отрезки времени.

Таким образом, элементы орбиты были известны как в афелии и перигелии, так и на расстоянии в 90° от них. Следовательно, долготы были вычислены правильно. Однако в октантах, на расстоянии в 45° от этих точек, снова появилась прежняя разность в 8′, слишком большая для того, чтобы приписать ее ошибкам наблюдений Тихо. Для решения этой загадки он снова применил свой тригонометрический метод к выводу расстояний Марса от Солнца непосредственно из наблюдений. Для долгот 44°, 185°, 158° он нашел расстояния: 1,4775; 1,6310; 1,66255. Вычисление тех же величин при помощи найденных выше элементов дало: 1,48539; 1,63883 и 1,66605. Таким образом, наблюдения показали, что расстояния Марса от Солнца должны быть меньше, чем это следовало из предположения о круговой его орбите. Другими словами, планета двигалась не по окружности, проведенной через афелий и перигелий, а внутри нее. Причина этого ясна: орбита планеты — не круг, она с двух сторон заходит внутрь него, а затем снова выходит из круга. Орбита такого вида называется овалом [7].

Первоначальным и неизменно сохранявшимся всеобщим принципом, господствовавшим в древней астрономии и принимавшимся в качестве догмы всеми поколениями астрономов, было учение о том, что круг, безусловно, должен быть истинной орбитой небесных тел. Теперь из наблюдений, при помощи точных измерений Тихо, была выяснена ошибочность этого положения. Результат Кеплера оказался первым успехом эмпирического метода в естествознании в начале современного периода исследования природы.

Однако на этом его затруднения не кончились. В своих попытках объяснить эту орбиту физически ясным способом, исходя из изменяющейся с расстоянием действующей силы Солнца и из собственного движения планеты, он шел окольными путями, которые стоили ему года бесплодных вычислений. Давид Фабрициус, священник из Эмде, в переписке с которым он уже давно обсуждал эти вопросы и кого он после смерти Тихо считал лучшим

наблюдателем, предостерегал его от подгонки вычислений к наблюдениям. Наконец, Кеплер заметил, что боковое сжатие орбиты составляет 0,00429 доли радиуса, что точно равно половине квадрата эксцентриситета ($0{,}0926^2 = 0{,}00857$). Это открытие явилось для него, как он писал, пробуждением ото сна [8]. Таким образом, орбита должна была представлять собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Сжатие в этом почти круговом эллипсе было равно половине квадрата эксцентриситета. В этом результате, называемом чаще всего *первым законом Кеплера*, впервые была раскрыта форма планетных орбит.

Последние главы его книги посвящены выводу положения плоскости орбиты. Он нашел долготу восходящего узла $46°46^1/_3{}'$ и наклон 1°50′25″. Широты, наблюдавшиеся в различных противостояниях, хорошо представляются этими элементами, как видно из таблицы, приведенной на стр. 255. Остающиеся отклонения больше для долгот; они обусловлены главным образом неточностями в учете рефракции и параллакса. Из дополнительных колебаний широт и долгот, существование которых предполагал Коперник, не удалось заметить ни одного. Кеплер отметил, что параллакс Марса не был обнаружен, так как он мог составлять самое большее 2′, следовательно, параллакс более удаленного Солнца, наверное, был бы меньше 1′.

Бóльшая часть этой работы была выполнена еще в первые годы пребывания в Праге, несмотря на финансовые и прочие затруднения, всегда слабое здоровье, длительную борьбу за право использования наблюдений и занятость множеством других обязанностей. В 1604 г. все его результаты были уже готовы, и в 1605 г. Кеплер смог преподнести свою рукопись императору Рудольфу. Однако из-за споров с наследниками Тихо и финансовых затруднений императора книга не могла появиться из печати вплоть до 1609 г. Название ее «Astronomia nova, aitiologetos seu physica coelestis» («Новая астрономия с объяснением причины явлений, или небесная физика») и название предшествовавшего ей краткого изложения: «De motu stellae Martis» («О движении звезды Марса») показывают, насколько ясно Кеплер сознавал, что своим трудом он поставил астрономию на совершенно новую основу не только полученными результатами, но и методами.

Новый метод исследования природы, впервые примененный Тихо Браге и Кеплером, стал основой последовавшего затем быстрого и беспрепятственного расцвета науки. Он состоял в накоплении данных наблюдения и эксперимента и в выводе из них правил и законов, составляющих науку. Тихо Браге и Кеплер не были одиноки. Уже в XVI в. у них появились сторонники во всех областях науки: Бенедетти, Симон Стевин и Галилей, изучавшие кинематику и механику, Джильберт — магнетизм, Везалий — анатомию, Ван Гельмонт — химию, Клузий — ботанику. Так дух нового времени пробил себе дорогу, порвал с предпочтением, отдававшимся вере в авторитеты, и высказался за оригинальное, экспериментальное исследование. [Так как астрономия в то время уже была хорошо развита, она весьма широко проникала в сферу других наук, составляя первоначальные выводы из разбросанных экспериментов].

Работа Кеплера не закончилась на книге о Марсе; она еще только начиналась. Его задачей (оставленной ему в наследство от Тихо) было составление и публикация «Рудольфинских таблиц».

Исследование Марса дало ему ключ к пониманию общего закона оказавшихся столь простыми планетных движений. Теперь он должен был применить этот закон к наблюдениям всех других планет. В 1618 г. в Линце, столице Верхней Австрии, где Кеплер снова вынужден был занять должность провинциального математика, он издал свое сочинение: «Epitome astronomiae Copernicanae» («Краткое изложение коперниковой астрономии»), в котором впервые было изложено правильное строение солнечной системы. Движения Меркурия и Венеры вокруг Солнца происходят, по Кеплеру, по эллипсам со следующими элементами: эксцентриситеты 0,210 (для Меркурия) и 0,00604 (для Венеры) и афелии 255° и 302° соответственно. Теперь Кеплер отбросил все усложнения, заимствованные им у Птолемея, который не мог без них обойтись. Так же как и у других планет, орбиты Меркурия и Венеры были неподвижны, имели постоянный наклон относительно эклиптики, без дополнительных колебаний.

О том, каким образом и из каких наблюдений это было выведено, нигде не объяснялось. В письме к своему прежнему учителю Местлину от 5 мая 1616 г. Кеплер просто говорил: «Летом 1614 г. была выведена теория для Венеры, а зимой 1615 г.— для Меркурия; в них нет ничего особенного по сравнению с Сатурном, Юпитером и Марсом; я сделал это при помощи большой орбиты для Земли и простого эксцентрического круга, такого же как у Марса» [9].

Это «Epitome...» представляло собой первый полный учебник астрономии, построенный на новых принципах. В нем говорилось прежде всего о сферической астрономии, о форме и размерах Земли, ее положении в мире. Дальше шли звезды (оставалось неясным, находятся ли они на одинаковых расстояниях от Земли или на разных, хотя их сфера представлялась бесконечной). Солнце было одной из звезд, которая из-за большой близости казалась такой яркой. Затем рассматривался воздух, с рефракцией, сумерками и мерцанием звезд. Говоря о суточном вращении Земли вокруг своей оси, Кеплер привел в доказательство этого утверждение о том, что природа в достижении своей цели всегда

использует простейший путь. Дальше шла речь о восходах и заходах небесных тел, о годе, днях, временах года и климатах. Во второй части, опубликованной в 1620—1621 гг., излагалась теория «Physica coelestis» («Физика неба»). Движения планет выводились из тех же основных физических принципов, что и в книге о Марсе. Эти физические объяснения для него были даже важнее численных значений элементов орбит, или, вернее, более существенны, так как они раскрывали причины движений. Все это излагалось в форме вопросов и ответов, не так, как у Галилея, стремившегося к драматической выразительности разговорной речи, а в виде наставлений, где вопрос как заголовок содержал в себе краткое содержание того, что раскрывалось в ответе. В письме к штатам Верхней Австрии он указал, что эта книга является объяснением к Рудольфинским таблицам, которыми он занимался.

Он занимался этой работой много лет, главным образом потому, что из-за нехватки денег в государственной казне он не мог нанять помощников для вычислений. Наконец, в лице Якоба Барча (ставшего впоследствии его зятем) он нашел преданного помощника при вычислениях. Таблицы появились только в 1627 г. На печатание книги Кеплеру пришлось внести дополнительные деньги из своих собственных средств. Благодаря превосходному базису эти таблицы превзошли все прежние, а также и современные, менее совершенные таблицы (в том числе и составленные Миддельбургским священником Филипом Лансбергеном). Превосходство Рудольфинских таблиц, широко применявшихся в практической астрономии, сохранялось за ним и на протяжении всего XVIII в. В то же время сведения о теоретической работе Кеплера распространялись довольно медленно. Несмотря на дружескую переписку с Кеплером, Галилей, что весьма примечательно, не знал об открытии им законов движения планет и в 1632 г. писал в своих «Беседах...» о том, что истинная форма планетных орбит еще не известна.

В течение всех этих лет в перерывах между практическими вычислениями Кеплер все же работал и над второй задачей, которая не была оставлена ему в наследство или поручена по службе, а возникла в результате его собственного стремления к познанию окружающего. То, чем он руководствовался в своей юношеской работе и что, собственно, привело его к Тихо, всегда оставалось глубочайшим в его жизни стремлением. Оно заключалось в следующем: раскрыть тайну строения мира, проникнуть в мысли, приведшие творца к созданию мира. В своей опубликованной в 1620 г. «Harmonice Mundi» («Гармонии мира») он искал связь планетных движений со всеми областями абстракции и гармонии: геометрическими фигурами, теорией чисел, теорией музыки. Однако среди всех этих фантастических соотношений содержалась одна

ценная находка, впоследствии цитировавшаяся как *третий закон Кеплера*: для всех планет квадраты периодов их обращений относятся как кубы больших полуосей их эллиптических орбит. В «Epitome...» этот закон также кратко упоминался. Для самого Кеплера это было осуществлением того, что на протяжении жизни являлось светлой целью всех его усилий и стремлений. «Я писал свою книгу для того, чтобы ее прочли, теперь или после — не все ли равно? Она может сотни лет ждать своего читателя, ведь даже самому богу пришлось 6000 лет дожидаться того, кто постиг его работу» [10].

Мы читаем это гордое заявление с улыбкой удивления, зная, что впоследствии наука приняла и сохранила из всей работы «Harmonice Mundi» лишь один листок с третьим законом Кеплера. Значит ли это, что вся остальная работа была напрасной тратой времени? Чтобы добиться чего-либо значительного, надо ставить перед собой еще более высокую цель. Ведь результат, остающийся в итоге человеческой деятельности, подобен небольшому плоду, который может вырасти только на большом растении, сначала полном жизни, а затем отмирающем и отбрасываемом как сухая солома. Могучие стимулы к труду и борьбе, которые человек получает из своего мира, он преобразует в целевые установки и задачи, определяемые главным образом мировоззрением своего времени. В течение всей жизни работа Кеплера развивалась как осуществление идей, запечатлевшихся в нем с юности, как единство цели, создавшей эту всеобщую гармонию. Но последующие поколения — иные люди с иными, новыми целевыми установками в изменившемся мире — взяли из нее только то, что могло понадобиться им для дальнейшего развития науки. Таким образом, то, что вдохновляло предшественников и составляло их славу, позднее нередко представлялось излишним или ложным направлением. В поздние столетия, когда научное исследование все более приобретало характер рутинной работы, идущей по проторенным путям, это стало менее заметным. В этот переходный период работа Кеплера, лучше чем любая другая, показала соотношение между общим и частным в развитии науки.

ГЛАВА 24

МЕХАНИКА И ФИЛОСОФИЯ

Социальные бури XVI в. в основном отшумели, и установился новый порядок. Могущество городских ремесленных союзов сошло на нет, и за пределами старых городишек с их цеховым строем возникли свободные от его ограничивающего влияния мануфактуры, как новая форма промышленной организации. Торговля с заморскими странами захватила как старые, так и новые центры Европы и стала большой общественной силой.

Необходимость централизованной власти нашла свое политическое выражение в установлении абсолютной монархии во всех наиболее крупных странах. Власть центрального правительства подавляла как разобщенность в городах, так и ссоры аристократов в провинциях. Наибольшего развития абсолютизм достиг во Франции, Голландии и Англии. Во Франции, в то время самой густо населенной, богатой и могущественной стране Европы, королевский абсолютизм достиг наибольшего блеска при Людовике XIV. Голландия, где господствовала сильная торговая аристократия, была столь же могущественной благодаря громадным прибылям, получаемым ею от торговли. Этот расцвет экономики дал мощный толчок к развитию духовной жизни. В Англии, стране поднимающегося класса торговцев и горожан, им в XVII в. пришлось сначала добиться победы в гражданской войне и заменить верховную королевскую власть властью парламента, чтобы обеспечить себе условия для полного развития. Германии и Италии, отрезанных от новой мировой торговли, этот расцвет не коснулся. Стонущие под пятой грабивших их завоевателей — соседних с ними стран,— они оказались отброшенными в своем развитии на несколько столетий назад.

[Теперь уже начали осознавать, что естествознание является средством улучшения жизни людей и увеличения их богатств. Это сознание ясно выражено в словах Христофера Рена, знаменитого лондонского архитектора. При разработке устава Королевского общества он процитировал слова короля Карла II: «...Мы с успехом покровительствуем философии экспериментального естествознания, входящей во все, что касается развития торговли и ремесел, способствующей увеличению числа полезных изобретений,

служащих для удобства, выгоды или здоровья наших подданных...»] [1].

Опыт, эксперимент стали основой науки, причем они включали в себя также изучение техники и методов работы. Ученые XVII в. широко использовали различные механизмы и саму механику. Они были искусными рабочими, конструкторами и изобретателями. Или, точнее говоря, многие люди того времени, проявлявшие любознательность к окружающему (главным образом, разбогатевшие горожане или аристократы, в том числе также профессора и должностные лица, находившиеся на службе у различных магнатов, а иногда — даже выходцы из среды ремесленников), проводили эксперименты при помощи самодельных приборов, сконструированных и построенных ими самими. При этом они ухитрялись делать открытия. Их-то, собственно, и называли впоследствии учеными того времени, хотя большая часть тех, кто действительно имел тогда кафедру и преподавал, в настоящее время совершенно забыта.

В начале этого века жил Корнелис Дреббель из голландского города Алкмара, изобретатель с европейским именем, конструктор множества удивительных инструментов, который часами плавал в подводной лодке по Темзе (для чего он специально добывал кислород из селитры) и который применил свои химические открытия к новому выгодному способу крашения тканей. Христиан Гюйгенс, чьи большие способности к механике, при поощрении окружающих, проявились уже в юности, вместе со своим старшим братом Константином в течение многих лет занимался шлифовкой линз для телескопов. Ньютон, который уже в школьные годы был ремесленником-любителем, придумывал и изготовлял различные практические приспособления для домашнего пользования, а позднее, когда мастера не могли ему угодить, он с величайшим терпением сам шлифовал прекрасные вогнутые металлические зеркала для телескопов. Левенгук открыл своих микроскопически маленьких «зверюшек» (микробов) при помощи им самим отшлифованных маленьких линзочек. Христиан Гюйгенс включил в проект программы учреждавшейся Парижской академии один пункт, касающийся будущих областей исследования: изучение взрывной силы пороха и движущей силы пара для использования их в машинах. XVII в. был веком механики, учения о движениях и силах, в том же смысле, в каком XVI в. можно назвать веком астрономии, XVIII в.— веком учения о теплоте, а XIX в.— веком электричества. Таким образом, каждое столетие как бы на опыте определяет начало развития той или иной отрасли науки.

Новые философские принципы пришли теперь в противоречие с традиционным учением Аристотеля. Провозвестниками новых методов в науке явились Бэкон и Декарт. Фрэнсис Бэкон (Бако-

из Верулама) в 1620 г. в «Novum Organon» («Новом органоне») с большой определенностью провозгласил эксперимент и исследование новым принципом и единственной основой науки и философии. Он подчеркивал, что наука должна служить практической жизни. То, что в прежние века называлось наукой, было в основном бесплодным. Философия стояла за пределами реальной жизни человека, изучая книги и теории вместо реальной природы. Знание — сила. Человек должен стать хозяином природы, но не посредством магии, как полагали средневековые невежды, а при помощи эксперимента. С тех пор изучение природы всегда называлось в Англии «экспериментальной философией», т. е. философией, основанной на опыте. Конечно, не Бэкон открыл ее и сделал господствующей философией. Многие другие, в том числе Кеплер, Стевин, Джильберт, давно уже ею пользовались и по своим научным взглядам смогли намного его опередить. Однако Бэкон четко сформулировал тот принцип, который впоследствии всегда связывался в Англии с его именем. В своей утопии «Nova Atlantis» («Новая Атлантида») он описал идеальное государство, в котором ученые, исследователи, путешественники и дельцы сообща жили и работали в лабораториях и садах, спорили и философствовали, проводили эксперименты и делали открытия. Во всех них горел дух исследования, стремившийся к познанию природы и использованию ее для создания еще более счастливой жизни. В любом утопическом сочинении того времени, изображающем идеальное государство, например в «Civitas solis» («Городе Солнца») талантливого монаха-бунтовщика Томмазо Кампанеллы, на первое место выдвигалось представление о том, что труд и любые занятия должны опираться на изучение основ естествознания. Таково было направление мысли, характерное для начала XVII в. В «Утопии» Томаса Мора, появившейся столетием раньше, нельзя было найти таких идей.

Рене Декарт в своих работах 1637—1643 гг. принцип критического сомнения противопоставил вере в традиционный авторитет господствующего учения. Человек может полагаться только на свои умственные способности. В противоположность духовному рабству традиционной веры в авторитеты (учение Аристотеля тогда еще господствовало на университетских кафедрах) он провозгласил духовную свободу самостоятельного мышления. Здесь его принцип вступил в противоречие с принципом Бэкона: не эксперимент, а мышление является источником истины. Всякая истина обязательно должна исходить из единого принципа. Только чистое рассуждение является источником уверенности: «Мы хотим вывести следствия из причин, а не наоборот, причины из следствий» [2].

Эта основная идея проводилась и в его новом учении о мире, которое, в противоположность аристотелевскому учению, с его

абстрактными философскими понятиями, давало ясную механическую картину вселенной. По этой теории вселенная заполнена тонкой жидкостью, которая вращается в виде вихрей («tourbillons»), т. е. находится в круговом движении около Солнца и, конечно, также около далеких звезд. Это вращательное движение переносит планеты по их орбитам вокруг Солнца. Точно так же меньшие вихри заставляют обращаться вокруг Земли и Юпитера их спутников. Для комет оставалась обширная область за орбитой Сатурна, где они странствовали между вихрями различных звезд, то приближаясь к ним, то вновь удаляясь. Чтобы в своих мирных научных занятиях не приходить в столь опасное для жизни столкновение с церковью [3] (как раз в это время шел процесс Галилея), он добавил искусственное объяснение, по которому Земля, продвигаясь сквозь текущую жидкость, покоится относительно окружающей среды в каждый данный момент подобно тому, как дрейфующий корабль перемещается относительно морских течений, но может считаться неподвижным по отношению к воде.

Эта теория, стремившаяся выводить все явления из первопричин при помощи одного только размышления, естественно, была полна фантастическими объяснениями, впоследствии опровергнутыми наукой. Как говорил позднее историк астрономии Бэйи: «Бэкон был более мудрым, и его учение осталось. Декарт был более смел, и эта смелость оказала большую услугу человеческому уму, хотя сама эта теория и погибла» [4]. В основе этого противоречия заключалось также и противоречие во взглядах, общем характере и образе жизни обоих народов. В Англии граждане уже с эпохи средневековья добились значительной личной свободы и самостоятельности определенно благодаря островному положению страны, для обеспечения безопасности которой не было необходимости в содержании большой армии. Личная инициатива не встречала никаких препятствий со стороны властей и могла свободно проявляться как в делах и поступках, эксперименте и изучении природы, так и в торговле и ремеслах. Способ действия носил непосредственно практический характер. На континенте же люди были значительно сильнее связаны властью старых и новых авторитетов или ограничивающих свободу действий распоряжений. Прежде, чем воплотить новые идеи на практике, их авторам приходилось преодолевать массу препятствий, вариться в собственном соку и в результате непрерывного длительного размышления превращать эти идеи в законченные теоретические системы. Таким образом, с точки зрения философии Англия стала страной эмпиризма, а Франция — страной рационализма, распространившегося затем по всему континенту.

Декарт постепенно начал изгонять Аристотеля с университетских кафедр, которые интересовались только завершенными фи-

лософскими системами. В конце XVII и в начале XVIII столетий «вихри» проникли в большинство руководств по физике, хотя в иезуитских колледжах южных стран Аристотель сохранял свои позиции еще и в XVIII в. В астрономическом отношении декартовская теория отставала от науки своего времени. Так, законы Кеплера нельзя было объяснить вихревым движением мировой материи. Мы уже упоминали о том, что Галилей ничего не знал о работе Кеплера и в своих «Беседах...» называл планетные орбиты круговыми. Один только юный английский священник Иеремия Горрокс, умерший в возрасте двадцати двух лет, понял глубокое значение этой работы. Сначала он изучал Лансбергена, но вскоре после этого стал восторженным почитателем Кеплера. Он первым объяснил наибольшее неравенство в движении Луны эллиптической формой ее орбиты. Рудольфинские таблицы Кеплера стали использоваться повсеместно, однако даже в конце XVII в. Кассини и Ла Гир пытались дать иное объяснение неравенствам планетных движений.

Этому нельзя удивляться, если учесть, что и гелиоцентрическое учение Коперника из-за своей сложности все еще не было широко известно. Правда, физические возражения постепенно потеряли значение. В 1638 г. в Голландии были опубликованы галилеевские «Беседы о двух новых науках, механике и движении». Ослепший и больной в последние годы жизни, он диктовал работу своему ученику Вивиани. В этом конспекте исследований о движении тел, проводившихся на протяжении всей жизни, были заложены основы для обновления механики как науки. Хотя Коперник и его теория не упоминались в этой работе, она заложила прочную теоретическую основу гелиоцентризма. Гассенди, всю жизнь придерживавшийся атомистической философии Эпикура, на основании проведенных в 1640 г. экспериментов доказал сохранение равномерного движения. Так, например, шар, подброшенный кверху быстро скачущим всадником, падает обратно к нему в руки.

Более ощутимыми, однако, стали теперь теологические трудности, так как в католических странах авторы астрономических сочинений боялись вступать в конфликт с церковью. Наиболее ученым и известным противником взглядов Коперника был Дж. Б. Риччиоли, профессор иезуитского колледжа в Болонье, который проводил эксперименты, чтобы убедиться, что тела, падающие с высокой башни, приземляются точно под начальным пунктом падения. В 1651 г. он опубликовал свой «Almagestum novum» («Новый Алмагест»), название которого указывало на попытку модернизировать Птолемея, хотя сам автор, казалось, предпочитает систему Тихо. Эта книга представляла собой обширное собрание астрономических фактов и мнений, направленных на опровержение галилеевых «Диалогов» (нетрудная задача, когда у

противной стороны заткнут рот!). Риччиоли перечислил и обсудил 49 доказательств в пользу теории Коперника и 77 — против. Таким образом, большинством голосов движение Земли было отвергнуто. Однако такие хитроумные и осторожные доказательства не могли задержать дальнейшего развития науки, хотя в Италии клерикальная угроза холодной рукой сжимала горло ученых, делая научную дискуссию почти невозможной, и постоянно принуждая таких способных астрономов, как Борелли и Монтанари, воздерживаться от опубликования и выражения их действительных мнений. Во Франции, где могущество церкви было менее значительным, условия оказались лучшими. В 1665 г. французский астроном Озу в письме к влиятельному прелату согласился с тем, что гипотеза Коперника с философской точки зрения не является ни абсурдной, ни ложной, и что священное писание не должно служить инструкцией относительно принципов физики и астрономии, которые столь же бесполезны для потусторонней жизни, как полезны для жизни на Земле. Так он выразил свое требование свободы для ученых, конечно, оставшееся безрезультатным [5]. В XVIII в. подобные идеи постепенно начали распространяться в широких кругах публики [6].

В XVII в. началось создание ряда научных обществ. Теперь ученые не были уже одиночками, выделявшимися среди своих современников исключительными познаниями в естествознании и странностями. Они превратились в многочисленный класс состоятельных и образованных граждан, живо интересующихся окружающим миром, любознательных и жадных к знанию, чувствовавших себя полезными членами общества. Они искали и находили друг друга. В их обширной переписке зарождались новые идеи и открытия. Со временем переписку заменили регулярные собрания; когда же ученые получали поддержку и протекцию государственных деятелей и завоевывали официальное признание, то становились «академиками», почти так, как описал Бэкон в своей «Новой Атлантиде», только гораздо менее могущественными и влиятельными. Так, в 1645 г. в Англии возникла первая подобная организация, сначала еще с тайными собраниями, поскольку большинство ученых были роялистами, которые не рассчитывали на симпатию к себе со стороны пуританского правительства. Позднее, в 1662 г., по королевской хартии эта организация стала «Королевским обществом». На собраниях Общества заслушивались лекции и сообщения о новых открытиях и идеях, а также зачитывались письма от других ученых и демонстрировались эксперименты. Долгие годы секретарь Общества Ольденбург, уроженец Бремена, благодаря своей обширной переписке со многими европейскими учеными, играл роль своеобразного научного центра. В течение многих лет Роберт Гук, в высшей степени проницательный и

разносторонний исследователь, за мизерное вознаграждение демонстрировал на каждом собрании новые интересные эксперименты. В его бумагах было найдено описание цели и задач Королевского общества: «Повышать знание натуральных вещей и всех полезных искусств, мануфактур, практической механики, инженерного дела и изобретательства при помощи экспериментов (не вмешиваясь в богословие, метафизику, мораль, политику, грамматику, риторику или логику)» [7]. И вот для ознакомления ученых со всеми этими материалами с 1666 г. стали издаваться «Philosophical Transactions», оставшиеся и в дальнейшем одним из важных научных журналов.

Во Франции таким же образом естествоиспытатели встречались друг с другом на регулярных собраниях, еще до того, как министр Кольбер дал этому обществу ученых в 1666 г. официальный статут «Академии наук». Между обеими академиями существовало различие, типичное для различия самих этих стран, которое было остроумно подмечено Вольтером в следующем веке и описано позднее в «Истории королевского общества» такими словами: «Члены Французского института получают ежегодную стипендию. Члены Королевского общества выплачивают ежегодную сумму на поддержание своего института и на успехи науки. Чувствам англичанина должно быть противно подчиняться правилам Французского института, которые требуют, чтобы официальные речи и имена кандидатов для избрания были одобрены правительством до того, как первые будут произнесены, а последние — избраны» [8]. Если в Англии члены академии были независимыми людьми, которым приходилось самим оплачивать свои исследования, во Франции академики получали от короля жалование, так называемый «пенсион». Король Людовик XIV мнил себя величайшим из монархов Европы, слава и влияние которого распространялись далеко за пределы его собственной страны. Он выплачивал «пенсион» многим зарубежным ученым, пытаясь блеском своего правления привлечь лучших из них в Париж. [Так, Христиан Гюйгенс, приглашенный Кольбером из Голландии, стал одним из ведущих членов новой академии.] Наряду с французскими астрономами Пикаром и Озу здесь работали Оле Ремер, приглашенный из Дании, и Доменико Кассини из Италии [9], причем последний даже был директором вновь построенной обсерватории, которая служила также помещением для Академии. На собраниях академии обсуждались и повторялись эксперименты. Если появлялась комета, то ее сообща наблюдали, а затем излагали в лекциях свои соображения о природе комет. В докладах о них, публиковавшихся в незадолго до этого учрежденном «Journal des Savants», можно найти различные рассуждения по этому поводу, часто весьма примитивные, но все же содержавшие иногда важные новые идеи.

Пример этих передовых стран вскоре нашел последователей. Уже в 1657 г. во Флоренции несколько естествоиспытателей объединились в «Accademia del Cimento» («Академию естествоиспытателей»), которая на своих собраниях систематически проводила эксперименты по разным разделам физики. Однако, когда через 10 лет после основания академии им дали понять, что высшие церковные власти с неодобрением отзываются об этой работе, ее пришлось прекратить. В разоренной и раздробленной Германии, где мелкие князьки пытались подражать блеску Версальского двора, научные общества возникали в разных городах. Наиболее важным из них была Берлинская академия, но исключительно благодаря личности ее основателя, разностороннего ученого и философа Г. В. Лейбница, гениального математика, который пытался в столь неподходящих условиях осуществить на практике свой идеал — создать республику ученых. Расцвет Берлинской академии начался лишь столетием позднее. В Голландии XVIII в. «научные общества» стали возникать в каждом городе. Таким образом, растущее стремление поднимающегося класса буржуазии к знанию привело к созданию научных обществ по всей Европе.

ГЛАВА 25

ТЕЛЕСКОПЫ

Развитие астрономии в XVII и XVIII вв. явилось прежде всего следствием применения нового технического вспомогательного средства, инструмента, который астрономы получили отныне в свое распоряжение,— телескопа (или подзорной трубы). Его изобретение было случайным, эмпирическим, в некотором роде — чудом. В 1612 г. Кеплер в своей книге «Оптические исследования» впервые дал теорию прохождения световых лучей сквозь линзы и образования изображения. Располагая линзы одну за другой в единой оптической системе, он рассмотрел любые их комбинации. Среди них была не только использованная Галилеем комбинация голландского типа (с выпуклым объективом и вогнутым окуляром), но также и комбинация из выпуклого объектива и выпуклого окуляра меньших размеров. Этот вид телескопа позднее был назван его именем, хотя сам Кеплер никогда не пытался практически его построить.

В практической жизни такой телескоп не использовался, так как он переворачивал изображение, т. е. показывал людей вверх ногами. В следующие десятилетия он вошел в употребление у астрономов, хотя мы не знаем, руководствовались ли они при этом опытом или теорией Кеплера. Несмотря на ряд более поздних сообщений, мы достоверно не знаем также и того, кто первым его построил и как его использовал. Известно, что в 1655 г. Ганс Захариассен, сын Захариаса Янссена, объявил, что он вместе со своим отцом в 1619 или в 1620 г. построил «lange buyse» («длинную трубу»). Для того чтобы ее фокус находился между объективом и окуляром, как в системе Кеплера, такой телескоп должен был быть длиннее голландской трубы, в которой окуляр находится между объективом и фокусом. В 1646 г. Фонтана сообщил, что сделал такой телескоп уже в 1608 г., а Христоф Шейнер упомянул в 1630 г., что телескоп такой же длины он использовал для наблюдения солнечных пятен, проектируя Солнце на экран. В 1645 г. патер Ширль из Рейтского монастыря описывает, как он при помощи кеплерова изобретения смог увидеть звезды отчетливо и ясно в широком поле зрения.

В этом действительно и состоит преимущество системы Кеплера над голландской — она обладает бо́льшим полем зрения. Лучи света, идущие от звезды, на которую телескоп не направлен точно, проходят через него наклонно и не попадают в центр окуляра. При вогнутом же окуляре голландской трубы они еще дальше отклоняются от центра и, следовательно, не будут видны. Однако при выпуклом окуляре они соберутся к центру и, таким образом, легко попадут в зрачок глаза. Благодаря этому значительному увеличению поля зрения, на котором все звезды видны ясно и четко, кеплеров тип телескопа и получил большое распространение в астрономии и, начиная с 1640 г., совершенно вытеснил все прежние системы телескопов.



Рис. 34. Христиан Гюйгенс.

Вскоре после этого братья Гюйгенс (как и многие в то время) занялись терпеливо и старательно шлифовкой линз, которые позволили бы наконец рассматривать небесные тела при более сильном увеличении. Телескопы системы Галилея позволяли доводить увеличение только до 30-кратного. При больших увеличениях изображения становились настолько плохими и неустойчивыми, что использование инструмента не давало никакого выигрыша. Вскоре стало ясно, что это происходит из-за большой кривизны поверхностей линз, которая не позволяет лучам света собираться в одну точку. Тогда началось использование линз с поверхностями малой кривизны (более длиннофокусных), т. е. телескопов большей длины. Христиан Гюйгенс (1629—1695), математическая одаренность которого проявилась очень рано, впоследствии теоретически вывел лучшую форму линзы. Если бы кривизна одной поверхности была в 6 раз меньше, чем второй, то можно было бы значительно уменьшить дефект изображения, вызванный выпуклостью поверхностей, т. е. «сферическую аберрацию». Однако на практике это ничего не дало. Вместе с братом Гюйгенс сделал первый 12-футовый телескоп с отверстием в $2^1/_2''$ (57 *мм*), составлявшим $^1/_{60}$ длины инструмента, а затем

еще больший, длиной в 23 фута. При помощи первого телескопа он открыл в 1655 г. звездочку возле Сатурна, которая перемещалась вместе с планетой. Она оказалась спутником, описывающим свою орбиту вокруг Сатурна за 16 дней 4 часа. Еще больше заинтересовали Гюйгенса странные придатки, которые Галилей изображал в виде маленьких шариков, привязанных к Сатурну. Они постоянно видоизменялись, а иногда становились невидимыми.

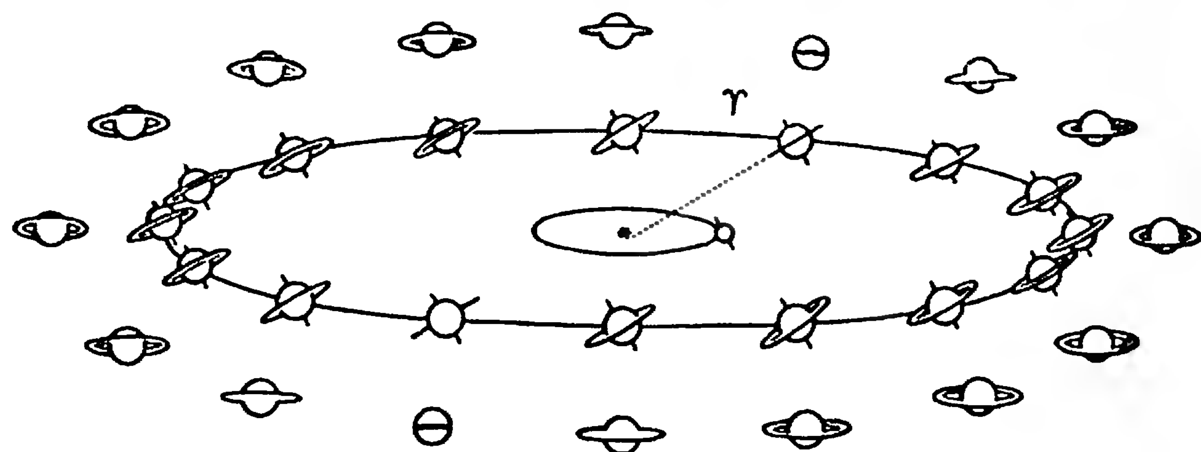


Рис. 35. Изменения вида кольца Сатурна согласно Гюйгенсу.

Гюйгенс наблюдал их в виде двух звездочек и сделал из этого заключение о том, что они должны находиться вблизи Сатурна, вращаться вокруг него. Поскольку эти придатки наблюдались всегда почти в одном и том же виде, они должны были охватывать планету наподобие кольца. Полное исчезновение кольца в 1656 г. показало Гюйгенсу, что оно должно быть очень тонким и плоским. Таким образом, в вышедшей в 1659 г. «Systema Saturnium» («Системе Сатурна») он смог дать решение этой загадки: «Сатурн окружен тонким плоским кольцом, которое нигде не соприкасается с ним и наклонно к эклиптике» (рис. 35). Затем он добавил: «Я должен еще кое-что сказать о возражениях, идя навстречу желаниям тех, кто считает в высшей степени странным и неправильным то, что я придал небесным телам форму, которая до сих пор еще не встречалась, хотя, с другой стороны, считается твердо установленным и подтвержденным законом природы то, что им подходит только сферическая форма. Следует учесть, что эта гипотеза не является моим измышлением или фантазией..., но что я ясно видел это кольцо собственными глазами» [1].

Эту загадку Сатурна не просто было разрешить даже при наблюдении в хороший телескоп, и найденное решение явилось результатом размышлений и выведенных отсюда заключений. Ведь по сравнению с современными инструментами телескоп Гюйгенса был еще очень примитивным и плохим. Современный астроном

(Нейланд из Утрехта), исследовавший линзу гюйгенсовского 12-футового телескопа, описывал внешний вид наблюдаемой в него яркой звезды как расплывчатое пятно с исходящими из него голубоватыми лучами [2].

Искусный итальянский оптик Кампани, располагавший лучшим, наиболее прозрачным венецианским стеклом, изготовлял самые лучшие линзы. Использовав эти линзы в своих телескопах, Кассини (придворный парижский астроном) сумел между 1671 и 1684 гг. открыть 4 маленьких спутника Сатурна.

Большое значение имело также усовершенствование окуляров. Для них сначала использовалась одиночная плоско-выпуклая линзочка. Затем Гюйгенс сконструировал названный его именем окуляр, состоявший из двух плоско-выпуклых линз, располагавшихся друг от друга на теоретически рассчитанном расстоянии. «Окуляр Гюйгенса» до настоящего времени широко применяется как лучший окуляр для телескопов.

Пытаясь добиться наибольшего увеличения, не ухудшающего качество изображения, стали строить все более длинные телескопы с линзами возможно меньшей кривизны. Братья Гюйгенс шлифовали линзы с фокусными расстояниями в 45, 60, 120 футов и еще более. Кампани также изготовил для парижских астрономов подобную линзу в 130 футов. Телескопы с трубами такой длины было столь же сложно строить, как и наблюдать с ними. Чтобы можно было ими пользоваться, линзы в оправе укрепляли на высоком столбе, а наблюдатель, стоя на земле, рассматривал через окуляр получающееся в фокусе объектива изображение (рис. 36). Подобные «леса» Гюйгенс установил у себя на родине (в Хофвийке), недалеко от Гааги, и проводил на них наблюдения. Понятно, насколько трудно было пользоваться таким аппаратом, и можно только удивляться практической сноровке тех, кто ухитрялся с ним наблюдать. Позднее все же пришлось отказаться от дальнейшего увеличения длины телескопов, особенно после того, как появились исследования Ньютона. Он показал, что основной источник искажения изображений заключается не в сферичности поверхностей линз, а в хроматической аберрации стекла, которая сохраняется и при значительном увеличении фокусного расстояния.

Естественно, что с помощью телескопа не только открывались новые небесные тела, но и проводились всякие другие работы, последовавшие за простыми пионерскими начинаниями Галилея и его современников. Так, Фонтана в Неаполе провел с 1630 по 1646 г. много наблюдений планет и в особенности Луны и Юпитера. Были открыты (Ходиерной в 1652 г.) затмения спутников Юпитера, т. е. их вступление в тень планеты, а также прохождение их тени по диску Юпитера. На основании многочисленных наблюдений Борелли дал в 1665 г. первую теорию движения

спутников Юпитера; еще более полную теорию с первыми таблицами движения спутников предложил Кассини в 1668 г. Естественно, что он основывался при этом главным образом на наблюдениях, проводившихся вблизи противостояний Юпитера. Продолжив эти наблюдения в Париже, он установил, что в соединениях

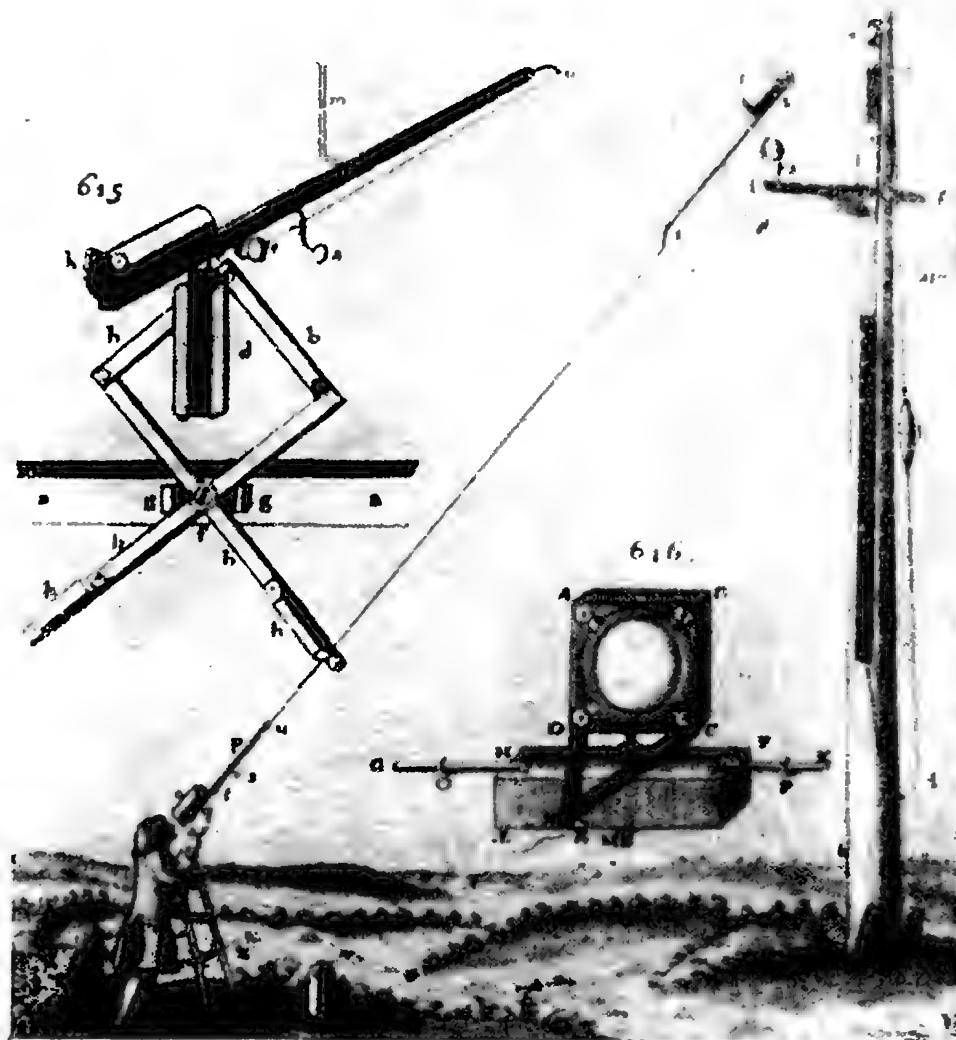


Рис. 36. *Телескоп Гюйгенса (без трубы).*

моменты затмений первого спутника запаздывают более чем на 10 минут. Оле Рёмер, датский астроном, [который ездил с Пикаром к руинам Ураниборга и узнал об этом, возвратившись в Париж в 1675 г.][3], объяснил этот факт конечностью скорости распространения света. Когда Юпитер находится ближе к Земле, его свет быстрее до нас доходит. Отсюда он сделал вывод, что свет проходит расстояние от Земли до Солнца за 11 минут.

Некоторые наблюдатели XVII в. направляли свои телескопы на различные планеты и полагали, что видели там иногда какие-то

пятна или вытянутые образования. В книге о Сатурне Гюйгенс привел рисунки Юпитера (с ясно различимыми экваториальными полосами) и Марса (с единственной более темной полосой). В его дневнике, относящемся к более позднему периоду, содержались зарисовки Марса, на которых удалось отождествить ряд позднее открытых пятен. Эти зарисовки позволили более точно установить период его вращения вокруг оси. Кассини со своими лучшими телескопами добился еще большего успеха, установив в 1663 г. на основании наблюдения пятнышек в экваториальных полосах Юпитера период осевого вращения планеты, составлявший всего 9^h56^m. В следующем году он определил период обращения Марса, равный 24^h40^m. Эти открытия представляли собой высший предел того, чего можно было добиться с весьма примитивными инструментами того времени.

Наиболее многообещающим объектом для изучения при помощи новых инструментов была Луна. После первых открытий Галилея некоторым наблюдателям захотелось составить точное изображение или карту Луны. Это был иной мир, в некотором отношении подобный нашему земному. Однако если далекие континенты на Земле были столь недоступны, что приходилось описывать только их побережья, и потому составление их полной топографической карты было невозможно, то лунный мир (конечно, его обращенная к нам сторона) полностью был перед глазами астрономов, и его можно было легко нанести на карту.

Первая значительная работа в этой области была выполнена Яном Гевельке (1611—1687), более известным (по своим публикациям) под латинизированным именем Гевелия. Житель Гданьска, он учился в Лейдене, а позднее построил у себя дома обсерваторию, где в 1641 г. начал систематические наблюдения Луны. В своей «Селенографии», опубликованной в 1647 г., он привел выгравированные им рисунки и карты (рис. 37), на которых были приблизительно нанесены горы и другие образования и проставлены названия, заимствованные из земной географии. Все же названия лунных объектов, за исключением гор (Альпы, Апеннины, Кавказ), следует связывать с именами Риччиоли и его ученика Гримальди, которые нанесли их на свою карту Луны, изданную в 1651 г. Кольцевые горы были названы по именам знаменитых математиков и астрономов; более темные равнины, выглядевшие, как моря, получили характерные замысловатые названия с географическим или метеорологическим значением. Так, еще и по сей день мы называем наиболее яркие, заметные кольцевые горы на Луне именами Тихо, Коперника, Платона, Аристарха, а большие равнины — Море Ясности (Mare Serenitatis) и Океан Бурь (Oceanus Procellarum).

Наиболее глубокой мыслью, почерпнутой из такого изучения Луны и планет, явилось убеждение в том, что если они по существу подобны Земле, то и на них также могут быть живые существа. Кеплер еще раньше, в своем посмертно опубликованном



Рис. 37. Карта полной Луны, составленная Гевелием.

«Сновидении», описывал сон о фантастическом путешествии на Луну. Эта романтическая основа была использована им для того, чтобы поупражнять свое остроумие в наглядном объяснении установленных наукой небесных явлений и условий жизни на Луне.

Размышляя о мире, ученые XVII в. пытались составить себе, насколько можно, лучшее представление об условиях жизни на планетах, считая их обитаемыми. Так, Гюйгенс в изданном в 1698 г. (уже после его смерти) сочинении «Космотеорос» размышлял об условиях жизни на других мирах: «...Так как известно, что на Земле и Юпитере есть облака и вода, едва ли можно сомневаться в том, что они есть также и на других планетах». Что же касается животных, то «...нет причины, по которой их способ питания и размножения на других планетах не должен бы был походить на то, что мы видим здесь, так как все животные на этой Земле... следуют одному и тому же закону природы» [4]. Если же там есть разумные существа, то их законы мышления и геометрии должны быть такими же, как у нас.

Большую популярность завоевала книга Фонтенелля «Entretiens sur la pluralité des mondes» («Беседы о множественности миров»), опубликованная в 1686 г. Здесь описывались планетная система по Копернику, жители Луны и других планет, вихри и кометы. «Не следует удивляться,— говорил автор маркизе,— слыша, что Луна подобна Земле и, по всей вероятности, обитаема». Дальше он говорил о лунах Юпитера: «Не менее вероятно, что и они населены, хотя им и не повезло в том отношении, что они должны обращаться около другой, более важной планеты» [5]. Но как же тогда быть с теологическим затруднением (его он обсуждает в предисловии) — могут ли люди и на Луне вести свое происхождение от Адама? «Те, кому хочется помещать людей на Луну, создают дополнительные трудности. Я не помещаю их туда. Я оставляю там лишь обитателей, а вовсе не людей... Вы должны понять, что человеку невозможно там быть, так как это вполне соответствует моей гипотезе о бесконечном разнообразии, которое природа проявляет во всех своих творениях».

Та особенность астрономических труб системы Кеплера, что в них действительное изображение возникает в фокальной плоскости и затем рассматривается при помощи расположенного позади этой плоскости окуляра, является очень важной для астрономии. Она позволяет одновременно с небесными телами четко видеть и какой-либо предмет, находящийся в этой фокальной плоскости — пластиночку, кольцо или нить. Таким образом можно измерять на небе небольшие расстояния и размеры. В 1659 г. Гюйгенс сообщил, как он измерил диаметр планеты, закрывая ее расположенной точно в фокальной плоскости металлической полосочкой, длину которой можно было определить. Французский астроном Озу описал в 1667 г. усовершенствование этого метода. Он поместил в фокальной плоскости две параллельные нити, одна из которых перемещалась при помощи винта. Это был первый экземпляр нитяного микрометра, превратившийся за последующие столетия в еще более совершенный измерительный инструмент. Еще раньше, в 1640 г., юный английский астроном В. Гаскойн (вскоре после этого убитый на гражданской войне) применял такое же приспособление для измерения диаметров

планет, что было лишь впоследствии обнаружено в его рукописях.

Как ни важны были для развития взглядов человечества все эти телескопические открытия, все же приспособление к телескопу измерительных инструментов для астрономии было еще важнее. Предложение (1634 г.) известного парижского астролога Морина использовать галилееву трубу в качестве визирного приспособления для измерительных инструментов, конечно, нельзя было применить на практике. Только кеплерова труба открыла новую дорогу. Благодаря тому, что изображение звезды, рассматриваемое при помощи увеличивающего окуляра, можно было привести в точку пересечения двух крестообразно натянутых в фокальной плоскости нитей, положение телескопа удалось фиксировать со значительно большей точностью, чем при визировании невооруженным глазом. Таким образом, точность определения звездных положений значительно возросла. Жан Пикар, наиболее старательный и способный из астрономов-наблюдателей, первым ввел это приспособление в астрономические измерения в 1667 г. Он стремился определить размеры земного шара более точно, чем ранее, используя метод измерения треугольников. Этот метод был разработан Снеллиусом из Лейдена и применен к измерению расстояния между Алкмаром и Берген-оп-Зумом. В 1617 г. он описал все это в книжечке с весьма подходящим названием «Eratosthenes Batavus» («Батавский Эратосфен»). Теперь Пикар таким же образом измерил на севере Франции ряд треугольников и базисную линию и определил разность широт между двумя конечными пунктами посредством измерения в этих пунктах зенитных расстояний многих звезд в меридиане. Его инструмент представлял собой дугу круга радиусом в 10 футов (здесь $1' = 1$ *мм*), причем телескоп использовался для визирования. Наблюдение с помощью этого инструмента показано на рисунке, где наблюдатель (в духе того времени) изображен в виде античного философа (рис. 38). Отдельные результаты отклонялись от среднего значения не более чем на 5″, и его результат — 57 057 туазов для дуги в 1° был весьма точным. Это было, однако, счастливой случайностью, так как при обычном определении положений расхождения часто бывали значительно больше. Так, Пикар нашел из других измерений отклонения в склонении Полярной звезды, доходящие до 10″ и 15″, которые зависели, вероятно, от времени года. Причина этого была выяснена лишь впоследствии.

Этот метод наблюдения не получил широкого применения. Гевелий пользовался старым методом Тихо и твердо его придерживался. Он с большой тщательностью изготовлял свои инструменты (квадранты и секстанты) (рис. 39), снабжал их точными приспособлениями для визирования, украшенными во вкусе того

времени великолепной отделкой. При этом он достиг (конечно, благодаря в высшей степени четкому изображению, позволявшему различать звездочки седьмой величины) точности, доходившей до



Рис. 38. Зенитный сектор Пикара.

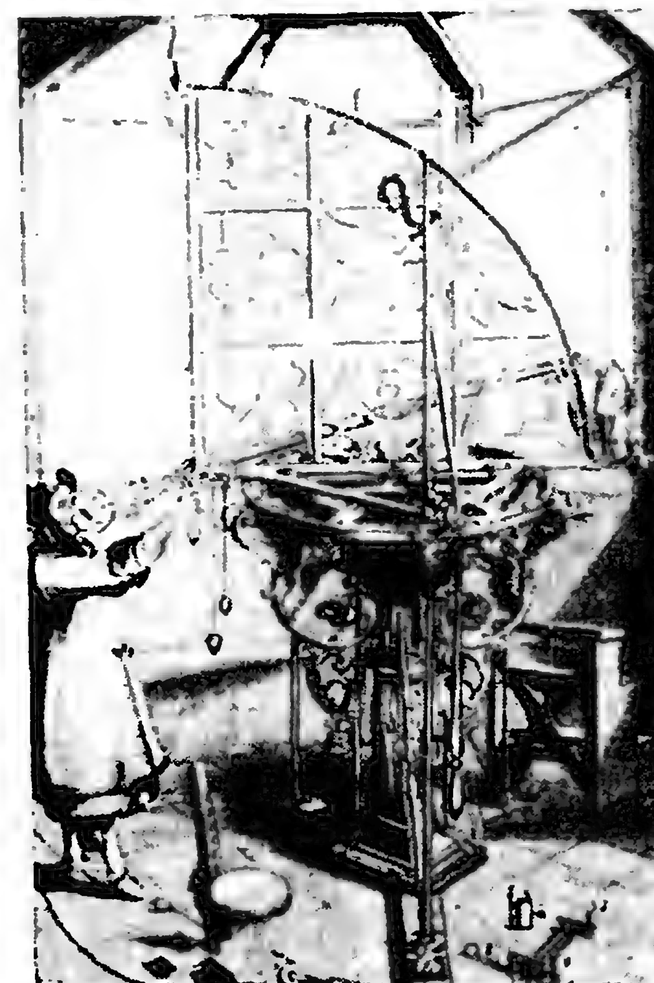


Рис. 39. Гевелий у своего квадранта.

1′ и меньше, т. е. превзошел Тихо. Помимо измерения высот в меридиане на 5-футовом квадранте, Гевелий определял также различные угловые расстояния планет и звезд на 6-футовом секстанте. Число его наблюдений доходило до многих тысяч. К сожалению, бóльшая часть их погибла при пожаре, уничтожившем его дом вместе с инструментами.

В 1690 г. (уже после его смерти) был издан составленный им звездный атлас, в котором слабые звезды, находившиеся между прежними созвездиями, были сгруппированы в новые, такие как Гончие Псы, Ящерица, Щит Собесского, Секстант, Единорог, Рысь.

По вопросу о лучшем методе наблюдения Гевелий резко спорил с Гуком (Англия), считавшим, что наблюдения только с одними визирами, без телескопов, не могут дать достаточно высокой точности. Для решения спора Эдмунд Галлей (1656—1742), который уже в 1676 г. (при наблюдениях на острове Св. Елены) приспособил к своему секстанту телескоп, был послан в 1679 г. из Лондона в Гданьск, чтобы совместно с Гевелием одновременно пронаблюдать одни и те же звезды (каждый своим инструментом). Оказалось, что различие между их результатами большей частью составляло несколько секунд, никогда не достигая 1′. Хотя и выяснилось, насколько преуспел Гевелий в искусстве наблюдения, но это было пределом того, чего можно было добиться без применения телескопов. Непосредственные визуальные наблюдения не имели будущего. Их точность легко удалось превзойти после того, как стали применяться измерительные инструменты в соединении с телескопом, а при дальнейшем непрерывном улучшении инструментов и методов эта точность была значительно повышена.

Отныне телескопы стали неотъемлемой частью астрономических инструментов. В Англии их использовал Флемстид при своих первых наблюдениях на только что учрежденной в 1676 г. Гринвичской обсерватории, конечно, по новому методу. Эти телескопы, как можно увидеть на старых картинах, были длинными тонкими трубами. Объектив представлял собой линзу диаметром всего в несколько сантиметров, так как для более точного наведения телескопа на звезды не требовалась большая яркость. Было необходимо лишь сильное увеличение. Оказалось, что вследствие сильного увеличения, ослаблявшего фон неба, или, иначе говоря, благодаря увеличению силы света звезды по отношению к фону неба более яркие звезды можно было наблюдать даже днем. Уже в 1634 г. Морин с восторгом описывал свои впечатления от того, что ему впервые удалось на своем телескопе пронаблюдать Венеру днем, через несколько часов после восхода Солнца. И, наконец, Пикар, впервые в 1669 г. наблюдавший на своем инструменте при ярком дневном свете прохождение Арктура через меридиан, открыл таким образом новые возможности астрономических измерений.

ГЛАВА 26

НЬЮТОН

Понятие силы притяжения впервые ввел не Ньютон. Уже Коперник высказывался о взаимном притяжении частиц Земли как о причине ее шарообразности. То же можно сказать и о других небесных телах, частицы которых собираются в шар. Кеплер говорил и о том, что тяготение есть стремление сходных тел к сближению и соединению. В приливах и отливах он видел доказательство того, что Луна притягивающе действует на воду на Земле: «Если бы Земля не мешала притягивать воды, то вся морская вода притянулась бы к Луне и улетела» [1]. Кеплер сравнивал тяготение с магнетизмом: «Земля притягивает к себе тела, летающие в воздухе, потому что они прикованы к ней магнитной силой» [2]. Однако на орбитальное движение сила тяжести не влияет. Солнце, говорил он, действует на планеты не притягивающей силой (потому что тогда они должны были бы упасть на Солнце), а направленной сбоку силой, наподобие круговых магнитных силовых линий, приводящих планеты во вращение. Тяготение и орбитальное движение — две совершенно разные вещи.

В XVII в. также мало говорилось о связи между орбитальным движением планет, вихревым движением эфира и силой тяжести, действующей на поверхность Земли и, конечно, на поверхности Солнца и планет. Гюйгенс попытался установить такую связь в прочитанной им в 1669 г. в Парижской академии лекции «О причине силы тяжести». В то время как по декартовским представлениям эфирная среда приводит Землю в равномерное вращение вокруг некоторой оси, а Луну — в круговое обращение по орбите, Гюйгенс полагал, что тонкая материя в быстром вихревом движении перемещается по земной поверхности в любых направлениях. Этой извне направленной центробежной силой (в то время он как раз занимался специальным изучением центробежной силы) тонкая материя прижимается к более грубой, весомой материи, не участвующей во вращении. Скорость вихревого движения должна быть в 17 раз больше скорости осевого обращения на экваторе, так как если бы Земля вращалась вокруг своей оси в 17 раз быстрее, чем теперь, тела на экваторе должны были бы терять в весе.

Развитие науки, однако, пошло в другом направлении: не к объяснению тяготения на основе орбитального движения, а к объяснению орбитального движения на основе тяготения. Еще Галилей в своих «Диалогах о двух системах мира» объяснил постоянную скорость горизонтально движущегося тела отсутствием трения, так что этот вид равномерного кругового движения вокруг центра Земли издавна считался наиболее естественным. Сам Галилей не смог преодолеть ограниченного представления, но он открыл дорогу рациональному пониманию движения. Его ученики и последователи, такие как Кавальери (1632 г.) и Торричелли (1644 г.), преодолели это ограничение и сформулировали «принцип инерции» в его современном виде: при отсутствии возмущающих сил скорость и направление движения не изменяются. В то время этот взгляд означал только, что равномерное круговое движение может возникать лишь потому, что направленная к центру сила постоянно отклоняет планету от той орбиты, которая при отсутствии этой силы оставалась бы прямолинейной. Противоположная ей сила, стремящаяся увести тело, находящееся в круговом вращательном движении, по касательной к этому кругу, направлена от центра. Это — центробежная сила, проявляющаяся, между прочим, в натяжении бечевки, удерживающей привязанное к ней тело, находящееся в круговом вращении.

В 1665 г. в своей работе о лунах Юпитера Борелли высказался о том, что центробежная сила, возникающая при орбитальном обращении этих лун, точно уравновешивается притягивающей силой Юпитера. Полную теорию центробежной силы впервые дал Гюйгенс в своей работе «Horologium oscillatorium» («Маятниковые часы»), где в связи с изобретением маятниковых часов он решал соответствующие проблемы математики и механики. Он вывел, что центробежная сила прямо пропорциональна квадрату скорости и обратно пропорциональна радиусу круга.

Если на планеты и Луну действует притягивающая сила, направленная к центру их орбит, то можно ли считать, что она ослабевает при увеличении расстояния? И в какой степени? Ответ на этот вопрос был дан Ньютоном.

Исаак Ньютон, сын фермера из Вульсторпа в Линкольншире, родился в 1642 г. В 1661 г. он поступил в Кембриджский университет, после окончания которого в 1665 г. уехал из города, где свирепствовала чума, к себе на родную ферму. Здесь он выполнил свои первые исследования (ставшие основными в его дальнейшей работе): по математике (теория флюксий), оптике (открытие того, что обычный белый свет состоит из нескольких компонентов, различающихся по цвету и способности к преломлению) и теории тяготения. На той же ферме, как гласит предание, Ньютон увидел

падающее с дерева яблоко, что и навело его на мысль о причине падения. Этот анекдотический рассказ (несомненно, он сотни раз наблюдал падение тел!) в любом случае следует заменить более подобающим вопросом о том, насколько далеко распространяется эта сила тяжести. Возможно, до Луны? Но тогда она может удерживать Луну на ее орбите? Ньютон предположил, что эта сила должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния, что вытекало из третьего закона Кеплера для случая круговых орбит. Расстояние до Луны составляет 60 земных радиусов. Период ее обращения известен; следовательно, если известна окружность или радиус Земли, можно вычислить ускорение, с которым Луна притягивается к Земле, направленное вдоль прямой, соединяющей эти планеты. Для длины дуги в 1° он принял значение 60 миль (такие данные он нашел в мореходном учебнике, единственном источнике, который был в его распоряжении). Английская морская миля всегда принималась равной 1′ дуги на земной поверхности. Считая, что эта «обычная» миля составляет 5280 футов, т. е. равна 4954 парижским футам, он получил ускорение Луны равным 0,0073 *фут/сек*², откуда ускорение силы тяжести на земной поверхности, находящейся в 60 раз ближе к центру Земли, чем Луна, должно быть в 3600 раз больше, т. е. составлять 26,3 *фут/сек*². Однако еще со времени Галилея было известно, что эта величина составляет 30 *фут/сек*². Следовательно, эта была действительно величина одного и того же порядка, но разность составляла все же $^1/_8$ полного значения. Как известно, разочарованный этим Ньютон временно оставил эту блестящую мысль и обратился в следующие годы к математическому изучению разработанной им теории флюксий и оптическим исследованиям по теории цветов.

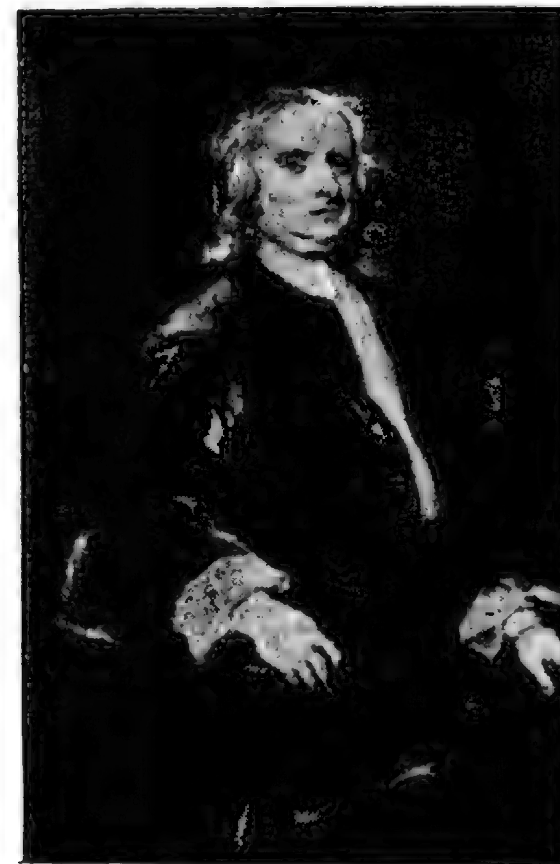


Рис. 40. Исаак Ньютон.

И все же он мог бы получить более правильное значение, так как результат Снеллиуса, установившего, что длина дуги земного

меридиана в 1° составляет 69 английских миль, тогда уже можно было найти в английских книгах. Французское градусное измерение Пикара, результаты которого были опубликованы в 1671 г., также для 1° дало 57 065 туазов, равных 69 английским милям, что полностью совпадало с результатом Снеллиуса. Так был установлен закон, по которому сила притяжения действует обратно пропорционально квадрату расстояния.

Закон изменения силы с расстоянием был сформулирован не только Ньютоном. Часть его математических выводов была обнаружена в работе Гюйгенса, опубликованной в 1673 г. Роберт Гук, проницательный и разносторонний, но завистливый исследователь, вскоре заявил, что он еще раньше знал этот закон (что весьма возможно) и что Ньютон взял эту идею у него.

Однако, если Гук и знал закон обратного квадрата расстояния, то никак его не использовал. Правда, он предложил Ньютону задачу: какую орбиту будет описывать тело, движущееся по этому закону, чем привлек его особое внимание к этим вопросам. Галлей и Рен также ими занимались. Теперь же необходимо было строго математически вывести все доказательства и следствия из найденного закона для орбит небесных тел. Это мог сделать только Ньютон, потому что решение такой задачи было невозможно без математических методов построенной им теории флюксий.

В 1684 г. теория по существу была закончена. Однако для полного завершения понадобился еще год напряженной работы, настолько его захватившей, что он зачастую забывал о еде и сне и серьезно подорвал свое здоровье [3].

К этому периоду и относится множество анекдотов о его рассеянности. Наконец, в 1686 г. он смог уже представить Королевскому обществу первую часть своего труда. То, что он недолго оставался в рукописном виде, было исключительной заслугой друга Ньютона — Галлея, в то время помощника секретаря Общества [4]. Благодаря его неустанной заботе и внесенным им деньгам [отчасти, из своего кармана] в 1687 г. труд Ньютона под названием «Philosophiae Naturalis Principia Mathematica» («Математические начала натуральной философии») был опубликован.

Название книги уже говорило о том, как можно заложить новые основы астрономии. Натурфилософией в то время называли в Англии естествознание. Почему были для этого необходимы математические начала (принципы), Ньютон объяснил в третьей книге своего труда, носившей название «Система мира»: «Я составил... эту третью книгу популярно для того, чтобы ее могли прочесть многие; но затем, поразмыслив о том, что силу выводов трудно было бы оценить тем, кто не достаточно убежден в принципах, и о том, что не следует отбрасывать действовавшие в течение долгих лет предубеждения, я пришел к заключению: для того чтобы не допускать споров, которые могли бы возникнуть в этом случае, излагать содержание этой книги на математический манер в форме теорем, понятных только тем, кто овладел изложенными в предыдущих книгах принципами» [5]. Такая оговорка станет понятной, если учесть, что Ньютон был в высшей степени чувствителен к критике, в то время так часто по пустяковым поводам нападавшей на результаты, которые он обдумывал тщательно и глубоко, и нередко откладывал их публикацию, чтобы избежать неприятной полемики. В этом отношении математическое доказательство имело убедительную силу. Как раз в то же самое время Спиноза излагал свою философию в математической форме утверждений с доказательствами.

Содержание двух первых книг действительно представляет собой математику и геометрию в применении к движению тел, т. е. то, что мы называем теоретической механикой. «В этом смысле рациональная механика есть учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений, точно изложенное и доказанное»,— писал Ньютон в своем предисловии [6].

Итак, следуя за Галилеем и Гюйгенсом, он стал разрабатывать основы этой науки. Он начал с установления принципов в форме «аксиом или законов движения»:

1. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

2. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

3. Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, или иначе: взаимодействия двух тел друг на друга равны между собой и направлены в противоположные стороны [7].

Ньютон ввел здесь и понятие массы как «количества материи..., устанавливаемого пропорционально плотности и объему...». Затем понятие количества движения как меры движения, устанавливаемой «пропорционально скорости и массе», и понятие «движущей силы», пропорциональной «ускорительной силе» и массе. «Ускорительной силой» Ньютон называл «меру, пропорциональную той скорости, которую она производит в течение данного времени» [8].

Масса и вес у Ньютона строго различались. Поэтому вблизи поверхности Земли, где ускоряющая сила тяжести (т. е. напряжение силы тяжести) для всех тел одинакова, движущая сила

тяжести или вес пропорционален массе тела. Если же подняться в такие области, где ускоряющая сила тяжести будет меньше, то и вес пропорционально уменьшится. Вообще вес будет постоянно пропорционален массе тела и ускоряющей силе тяжести [9].

Благодаря тому, что главной целью Ньютона было исследование свободного движения небесных тел, определение понятия центростремительной силы было включено в определения. «Центростремительная сила есть та, с которой тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся... Такова сила тяжести... и та сила, какой бы она ни была, которая постоянно отклоняет планеты от прямолинейного движения и вынуждает их обращаться по кривым линиям... Все такие тела стремятся удалиться от центра орбиты, и если бы не было некоторой силы, противоположной этому стремлению, которая и удерживает их на своих орбитах, то они и ушли бы по прямым линиям, двигаясь равномерно» [10]. Затем Ньютон продолжал: «Подобно тому, как брошенное тело может быть *отклонено силой тяжести так, чтобы описывать* орбиту вокруг Земли, так и Луна или силой тяжести, если она ей подвержена, или же иной силой, которая влечет ее к Земле, может отклоняться от прямолинейного пути и вынуждена обращаться по своей орбите; без такой силы Луна не могла бы удерживаться на своей орбите» [11].

Затем, при помощи строгих математических доказательств, Ньютон вывел из законов Кеплера, какова должна быть сила, определяющая движение планет. В его Предложении I идет речь о законе площадей: если движение тела происходит под влиянием центростремительной силы, направленной к неподвижной точке, то площади, описываемые радиусами, проводимыми от обращающегося тела к неподвижному центру сил, лежат в одной плоскости и пропорциональны временам описания их [12]. Для доказательства, приведенного в комментариях [13], Ньютон использовал равные конечные интервалы времени, за которые радиусы описывают треугольник; по истечении каждого из интервалов тело получает конечный импульс к центру. Далее он продолжал: «Увеличивая затем число треугольников и уменьшая их основания бесконечно, получим, что в пределе периметр... будет кривой линией и, следовательно, центростремительная сила, которая все время отклоняет тело от касательной к этой кривой, действует непрестанно...» [14].

Эти слова показывают, что за геометрической формой изложения скрывается содержание ньютонова метода флюксий, пронизывающего всю его геометрию. Такова была его идея, которая состояла в том, чтобы рассматривать количества и движения не как строго определенные, обособленные величины, а как величины,

находящиеся в процессе возникновения, изменения или исчезновения. Ньютон сумел обновить астрономию потому, что одновременно он был и новатором в математике. В своих доказательствах он использовал геометрические построения, состоявшие из прямых линий и треугольников конечных размеров. Но затем он высказывает предположение, что число таких отрезков увеличивается, а их размеры уменьшаются до бесконечности для того, чтобы получить соответствие с криволинейной орбитой и непрерывно действующей силой. Ньютон показал, что доказательства будут в этом случае достаточно строгими.

При помощи тех же самых геометрических построений было доказано обратное: «Если тело движется по какой-либо плоской кривой так, что радиусом, проведенным к неподвижной точке,... описываются площади, пропорциональные времени, то это тело находится под действием центростремительной силы» [15]. Таким образом, второй закон Кеплера о том, что описываемые радиусом-вектором площади пропорциональны интервалам времени, доказал, что планеты движутся под действием направленной силы, исходящей из Солнца. Для случая кругового движения Ньютон показал, что его метод приводит к центробежной силе, которую вывел Гюйгенс.

Затем, в XI Предложении Ньютон вывел обычным способом закон центростремительной силы Солнца из первого закона Кеплера о том, что орбита планеты является эллипсом, в фокусе которого находится Солнце. Используя хорошо известные геометрические свойства эллипса, он нашел, что сила обратно пропорциональна квадрату расстояния от Солнца. Ввиду особой важности этого доказательства для истории астрономии мы воспроизводим его в комментариях [16]. То же изменение силы с расстоянием, как было показано выше, было найдено при сравнении двух различных планет (для простоты предполагалось, что их орбиты круговые), к которым применялся третий закон Кеплера. Это означало, что различные планеты на одинаковом расстоянии от Солнца имеют одинаковые ускорения силы тяжести, следовательно, сила притяжения Солнца, действующая на планеты, не зависит от вещества, из которого они состоят. Благодаря этому законы Кеплера впервые получили «права гражданства». Выведенные сначала эмпирически, они были теперь прочно обоснованы как следствия из закона всемирного тяготения. Неоднократные попытки установить другие орбиты или законы скоростей движения, предпринимавшиеся в XVII в., потеряли теперь всякий смысл.

В третьей книге выводятся следствия из этих законов. На спутники Юпитера действует направленное к центральной планете притяжение, обратно пропорциональное квадрату расстояния.

То же самое у Сатурна. Планеты таким же образом притягиваются Солнцем. Точно так же Луна притягивается к Земле. Затем, вычислив на основании орбитального движения Луны ускорение силы тяжести на поверхности Земли, он продолжал: «Итак, сила, которая удерживает Луну на своей орбите, если ее опустить до поверхности Земли, становится равной силе тяжести у нас, поэтому (по правилам I и II) она и есть та самая сила, которую мы называем тяжестью или тяготением. Ибо если бы тяжесть была отличной от нее силой, то тела, стремясь к Земле под совокупным действием обеих сил, падали бы вдвое скорее и описывали бы в первую секунду своего падения $30^1/_6$ парижского фута, что совершенно противоречит опыту» [17]. При выводе этих положений Ньютон имел в виду правила, изложенные им в начале третьей книги и названные «Regulae philosophandi» («Правила философствования»):

1. Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений.

2. Приписывать одним и тем же следствиям, насколько возможно, одни и те же причины.

Эти правила в настоящее время могут показаться поверхностными и искусственными. Однако в то время, когда приходилось иметь дело с многочисленными фантастическими измышлениями, выражавшийся в этих словах призыв к интеллектуальной дисциплине не был излишним [18].

[Таким образом, все тела притягиваются друг к другу. Земля притягивает и камень и Луну. Но приливы и отливы показывают, что Землю притягивают как Солнце, так и Луна. Если тела притягивают друг друга с одной и той же силой взаимодействия, то бо́льшая масса сдвинется меньше, а малая значительнее.] Вес тел, подобных различным планетам, т. е. количество материи на некоторых из них, можно подсчитать на основании расстояний и периодов обращения спутников, вращающихся вокруг этих планет. Так было получено, что если принять Солнце за единицу, то для Юпитера эта величина составит $1/_{1067}$, для Сатурна $^1/_{3021}$, а для Земли $^1/_{169\,282}$. Сила, исходящая из небесных тел, складывается из взаимного притяжения их частей, т. е. мельчайших частиц материи. Это всемирное тяготение или притяжение (позднее названное гравитацией) есть всеобщее свойство всякой материи. Все частицы притягиваются друг к другу по закону обратного квадрата расстояния. Ньютон показал, что общее притяжение шара таково, как если бы вся его масса была сосредоточена в его центре. Поэтому только и можно строго применять законы Кеплера как к шарообразной планете, так и к шарообразному Солнцу.

Эта теория тяготения была не только наиболее общей и широкой формулировкой эмпирического закона, но и давала также объяснение множеству других явлений. Ньютон доказал со всей ясностью, что не только эллиптические, но также параболические и гиперболические орбиты приводят к тому же самому закону тяготения, т. е. что по этому закону орбита может быть любым коническим сечением, с Солнцем в его фокусе. Этот результат был сразу же применен к кометам, загадочным небесным телам, которые неожиданно появлялись и через некоторое время вновь исчезали вдали. Для их орбит в точности подошли параболы или гиперболы с ветвями, уходящими в бесконечность. В свое время Кеплер искренно верил в то, что кометы проносятся через мировое пространство мимо Солнца по прямым линиям. Кассини безуспешно пытался представить свои наблюдения комет при помощи наклонно расположенных в пространстве круговых орбит. Однако Борелли уже в 1664 г. предположил, что эти орбиты должны быть параболами. В 1680 г. появилась большая комета, вскоре подошедшая вплотную к Солнцу. Она обогнула его и исчезла в той же стороне, откуда появилась. Тогда Дёрфель, священник из Плацена (Саксония), высказал идею о том, что ее орбита была вытянутой параболой, в фокусе которой находится Солнце.

Теперь Ньютон дал этой идее теоретическое обоснование, показав, что орбиты комет являются коническими сечениями. Он считал, что они должны быть сильно вытянутыми эллипсами с большим эксцентриситетом, которые у вершины так близки к параболам, что их можно здесь спутать.

Ньютон предложил также метод вычисления истинной орбиты кометы в пространстве на основании наблюдений ее движения по небу и применил его к комете 1680 г. Пользуясь этим методом, Галлей вычислил орбиты 24 комет, которые появлялись в 1337 г., 1472 г., а также в XVI и XVII вв. Его результаты были опубликованы в 1705 г. Он обнаружил, что орбиты трех комет, наблюдавшихся в 1531, 1607 и 1682 гг., очень близки друг к другу. Так как интервалы времени между их появлениями составляли 76 или 75 лет, Галлей пришел к выводу, что это были три появления одной и той же кометы, которая обращается вокруг Солнца не по параболе, а по вытянутому эллипсу примерно за 75 лет. В сочинении, появившемся в 1716 г., он снова вернулся к этому вопросу и указал, что эта же комета, весьма вероятно, наблюдалась в 1378 и 1456 гг., а следующее ее возвращение должно произойти в 1758 г.

В своих «Principia» Ньютон пришел также к выводу, что вращающиеся небесные тела, и в особенности Земля, сплюснуты у полюсов. В этом отношении он шел за Гюйгенсом, который

около 1683 г. написал приложение к своему исследованию о причине тяжести (первые вычисления были сделаны им в дневнике еще ранее). Это приложение Гюйгенс послал секретарю Парижской академии в 1687 г., а в 1690 г. он опубликовал как само исследование, так и приложение вместе с трактатом о свете. В этом приложении он выдвинул мысль, что вследствие вращения Земли отвесная линия не всегда бывает направлена точно к центру Земли, а (на средних широтах) отклоняется к югу на $^1/_{10}° = 6'$. «Это отклонение противоречит тому, что всегда считалось незыблемой истиной, а именно, что отвес всегда направлен точно к центру Земли... Следовательно, если смотреть на север, то не окажется ли линия горизонта под горизонтом? Это, однако, никогда не отмечалось и, конечно, не бывает. Причиной этого, также парадоксальной, я считаю то, что Земля не совсем шарообразна, а сплюснута у полюсов, наподобие эллипса, вращающегося вокруг малой оси. Эта сплюснутость вызвана суточным движением Земли и является необходимым следствием упомянутого выше отклонения отвеса. Так как тела под действием своего веса опускаются параллельно в направлении этой линии, то поверхность любой жидкости должна располагаться перпендикулярно к отвесной линии, иначе она будет стекать еще ниже» [19]. Позднее (в 1690 г.) Гюйгенс получил величину сплюснутости, равную $^1/_{578}$. Исходя из представления о распространении по Земле эфирных вихрей, он принял, за неимением лучшего, что сила тяжести по всей Земле одинакова. Ньютону удалось найти более точное значение сплюснутости. Основываясь на том, что притяжение есть сила, исходящая из каждой частички, он смог заключить, что сила тяжести должна равномерно убывать с приближением к центру, вплоть до нуля. Ньютон вывел также отношение полярной оси Земли к ее экваториальному диаметру, равное $^{229}/_{230}$, и подсчитал (в предположении об однородности Земли), что сплюснутость ее составляет $^1/_{230}$. Оба этих теоретических вывода встретили резкие возражения со стороны французских астрономов, которые основывались на выполненных во Франции градусных измерениях. Эти проводившиеся в течение многих лет тщательные измерения длины дуги меридиана в 1° к югу от Парижа дали несколько большее значение (57 098 туазов), чем по дуге Париж — Дюнкерк (56 970 туазов). Отсюда Кассини и другие французские астрономы пришли к выводу, что длина 1° меридиана уменьшается к северу, т. е. что Земля должна быть вытянута у полюсов. Такое противоречие между теорией и практикой привело к тому, что французские ученые скептически отнеслись ко всей теории Ньютона в целом.

Ньютон в своей работе имел дело с теми астрономическими явлениями, которые находили объяснение в теории всемирного

тяготения. Сначала он указал, что притяжение Луны Солнцем оказывает возмущающее действие на лунную орбиту и является причиной неравенств в движении Луны, открытых еще Птолемеем и Тихо Браге. Ньютон первый дал первое теоретическое объяснение движения узлов лунной орбиты и нашел, что оно достигает максимума в квадратурах и уменьшается до нуля в полнолуниях и новолуниях. Затем он показал, как возникают морские приливы под воздействием Луны и Солнца, когда они притягивают к себе твердое тело Земли и подвижные воды океана. Прецессию, это регулярное медленное возрастание долгот звезд из-за изменения положения оси вращения Земли, также удалось объяснить притяжением Солнца и Луны, воздействующим на сплюснутую Землю. Рассмотрев сравнительное движение узлов воображаемых лун, обращающихся вокруг Земли по экваториальным орбитам, Ньютон смог даже подсчитать правильное значение величины прецессии: 50″ в год (9″,12 за счет Солнца и 40″,88 за счет Луны). Естественным следствием своей теории он считал и возмущения в движении планет, вызванные их взаимным притяжением. Ньютон писал: «Действия планет друг на друга весьма малы (так что ими можно пренебречь). ...Однако действием Юпитера на Сатурн не следует пренебрегать, ибо... притяжение Сатурна к Юпитеру будет относиться к притяжению его к Солнцу как... 1 : 211. От этого происходит возмущение орбиты Сатурна при каждом его соединении с Юпитером настолько значительное, что оно приводит в недоумение астрономов» [20]. Все остальные взаимные воздействия планет оказались настолько незначительными, что Ньютон даже предположил, что афелии и узлы планет должны быть неподвижны, или почти неподвижны. Он пришел к следующему заключению: «Неподвижные звезды также находятся в покое, ибо они сохраняют постоянные положения относительно афелиев и узлов» [21].

Таким образом, благодаря своей теории всемирного тяготения Ньютон дал астрономии, науке о небесных телах и их движениях, такие прочные основания, которых нельзя было и ожидать. В этом весьма важном для науки деле он объединил два внешне противоречивых принципа — Бэкона и Декарта. Он исходил из опыта, из законов, выведенных в результате строго математической обработки наблюдательных данных, и установил всеобщий принцип, из которого вытекали все отдельные явления. Не удивительно, что соотечественники Ньютона, а затем все человечество, признали его гениальность лишь после того, как были отброшены старые традиции, и трудности, мешавшие принятию нового способа мышления, постепенно исчезли. Его осыпали также милостями и почетными постами. С 1703 по 1727 г. (год его смерти) он был президентом Королевского общества. Его

назначение на должность «Опекуна монетного двора» (переименованную в 1699 г. в «Хозяина монетного двора») было не только честью, но и доходной синекурой. И. Ньютон и его коллега, философ Дж. Локк, вместе с министрами Сомерсом и Монтегю благодаря реорганизации чеканки полновесных серебряных монет, привели разрушенную денежную систему Великобритании в такое состояние, что она стала финансовой основой экспансии английской торговли [22].

В своих «Principia» Ньютон не ограничился изложением новой теории, которая позднее стала столь важной. Для его современников столь же необходимой была критика господствовавшей в то время старой теории. Вся вторая книга посвящена движению жидкостей и твердых тел в жидкостях при наличии сопротивления. Здесь в той же самой строго математической форме были заложены первые основы многих позднейших открытий в области гидродинамики и теории движения с сопротивлением. Здесь была подвергнута проверке вихревая теория. Прогресс науки в этой области за полвека заключался в переходе от туманной философской болтовни к строгому математическому вычислению. Книга заканчивалась следующими словами: «Итак, ясно, что планеты не переносятся по кругам материальными вихрями» [23]. Проведенные рассуждения привели Ньютона к следующему заключению: «Таким образом, гипотеза вихрей совершенно противоречит астрономическим явлениям и приводит не столько к объяснению движений небесных тел, сколько к их запутыванию» [24].

Несмотря на уничтожающую критику вихревой теории, большинство ученых на континенте скептически относилось к учению о гравитации. Лучше всего это можно увидеть из того, что в 1690 г. писал Гюйгенс в послесловии к одному из своих вновь вышедших сочинений. Касаясь отличия своих определений сплюснутости Земли от определений Ньютона, он говорил: «Я не согласен с принципом, использованным в этих вычислениях, т. е. с тем, что каждая из мельчайших частиц, которые можно вообразить себе в телах, притягивает и отталкивает. Я не могу согласиться с этим потому, что мне кажется ясным, что причину такого притяжения нельзя объяснить ни какими-либо принципами механики, ни законами движения» [25]. Это и понятно. Ведь по мнению Гюйгенса вес тяжелых тел обусловливался тем, что окружающие эфирные вихри прижимали их к Земле. Таким образом, сами по себе небесные тела не влияли друг на друга. Он ничего не имел против ньютоновой центростремительной силы, вызывавшей тяготение планет к Солнцу, а Луны — к Земле, так как ее он мог объяснить вихревой теорией. Правда, раньше он намеревался объяснить шарообразность Солнца силой тяготения, но не думал, что она может распространяться так далеко, до планет.

Впоследствии Гюйгенс писал: «...Мне мешали круговые вихри Декарта, которые раньше казались мне весьма вероятными и занимали мой ум. Я не думал также и о закономерном уменьшении тяготения, т. е. об обратной пропорциональности квадрату расстояния от центра, этом новом и замечательном свойстве тяготения, причину которого очень важно найти» [25]. Если бы Гюйгенс знал проведенное Ньютоном доказательство того, что эта центростремительная сила на эллипсе точно уравновешивается центробежной силой, он не сомневался бы в правильности его теории. Это кажется еще более вероятным потому, что он вскрыл всевозможные затруднения, возникавшие в вихревой теории. Так, например, он установил, что плоскости всех планетных орбит проходят через Солнце, что эксцентриситеты и наклоны орбит остаются постоянными, а скорости определенным образом изменяются — все это противоречило теории вихрей. Трудно было также объяснить движение многих комет против вихрей. Однако теорией Ньютона, по которой они должны были двигаться по вытянутым орбитам, эта трудность устранялась.

Затем Гюйгенс вернулся к рассуждениям о Земле, о тонкости и разреженности частичек вихрей и к тому, как они ее окружают. Он говорил, что Ньютон пытается доказать чрезвычайную разреженность эфира для того, чтобы его сопротивление не мешало движению, происходящему под действием тяготения. А ведь эфир вместо того, чтобы мешать движению, является причиной тяготения. «Иное будет, если предположить, что тяготение — это свойство, присущее телесной материи. Но я не верю в то, что Ньютон это допускает, потому что такая гипотеза увела бы нас далеко от принципов математики и механики» [26]. Точно так же думал и Лейбниц. Прочитав «Principia...», он писал Гюйгенсу (в октябре 1690 г.): «Я не понимаю, как он представляет себе тяготение или притяжение; кажется, что для него это всего лишь нематериальное и необъяснимое свойство, тогда как Вы объясняете его весьма правдоподобно, на основании законов механики» [27].

«Есть и еще одна трудность,— говорил Гюйгенс,— а именно то, что Ньютон допускает существование в мировом пространстве только такой разреженной материи, которая не оказывает сопротивления движению планет и комет. Тогда представляется невозможным объяснить ни действие тяготения, ни света, по крайней мере таким путем, как я обычно делал» [28].

Уже в 1678 г. Гюйгенс разработал теорию света и сообщил о ней, а в 1690 г. ее опубликовал. Теория трактовала свет как колебание, волновое движение, сферично распространяющееся в мировом эфире. При помощи этой теории Гюйгенс объяснил явления отражения и преломления света.

Совершенно иную точку зрения выдвинул Ньютон в 1691 г. в своей уже законченной, но не издававшейся вплоть до 1704 г. работе о свете. В ней он, помимо своего открытия сложности обычного света, объяснял также и сущность света как потока частиц, истекающих из тел и с огромной скоростью распространяющихся в пространстве. Преломление светового луча, падающего наклонно к поверхности стекла, теперь удалось просто объяснить целиком в рамках этой теории, по которой сильнее притягиваемые частички света, проходя через плотную материю стекла, отклоняются в направлении нормали к его поверхности. Таким образом ясно глубокое противоречие между обеими системами мира. У Ньютона мировое пространство пусто или почти пусто. Частицы света беспрепятственно распространяются в пространстве на бесконечно большие расстояния и так же, как планеты, при своем движении не встречают заметного сопротивления. Тяготение же через пустоту передается от одной частички массы к другой, от одного небесного тела к другому на сколь угодно большие расстояния. Гюйгенс не мог согласиться с теорией тяготения Ньютона потому, что по его теории света мировое пространство должно было быть заполнено эфиром.

Противоречие оказалось еще глубже. Хотя Гюйгенс признавал правильность ньютоновых формул и вычислений, они ему ничего не объяснили. Они не дали ему ответа на поставленные им и французскими учеными вопросы: каково происхождение притяжения, почему два тела притягиваются друг к другу? Если между ними нет никакой связи, тогда как они могут притягивать одно другое? При заполненном материей пространстве эта материя благодаря соприкосновению, давлению, усилию, вносит движение. Мы видим, как тела увлекают за собой струящуюся воду и воздух. Это — вполне понятное механическое действие. Но сила, действующая через пустоту, совершенно чужда такому механическому действию.

Видели ли Ньютон и его сторонники эту трудность? О, конечно! Но это их не беспокоило. В основном, следуя общему направлению мысли своего времени, Ньютон был согласен с Гюйгенсом. То, что он и его современники чувствовали необходимость этого объяснения, ясно из письма Ньютона к Роберту Бойлю (знатоку химии, открывшему закон «упругости» газов, 1678 г.), в котором он пытался в качестве причины силы тяготения предложить различного рода легкие и тяжелые частицы всепроникающего мирового эфира. Но его замечания о предметах подобного рода, как он говорил, были настолько «неудобоваримы», что они не удовлетворили его самого. «Вы легко поймете, имеют ли эти предположения какую-либо степень вероятности»[29]. Все же Ньютон не нашел удовлетворительного объяснения притяжения, действующего на расстоянии; это ясно видно из его писем 1692—1693 гг. к Ричарду Бентли, который переписывался с ним в связи со своими публичными лекциями. В этих лекциях Бентли, исходя из закона всемирного тяготения, доказывал существование бога и опровергал атеизм. Ньютон, который опубликовал несколько статей о библии и много занимался теологическими вопросами, в своем первом письме полностью согласился с этим ходом его рассуждений: «На ваш второй вопрос я отвечу, что ныне существующие движения планет не могли возникнуть только из естественных причин, но были созданы разумным фактором (Agent)... Итак, для того чтобы создать такую систему, со всеми ее движениями, необходима причина, которую можно понять, сравнить с другими и получить вытекающие из нее количества материи, заключенные в телах Солнца и нескольких планет, и силы притяжения... Причина не слепа и не случайна, а очень искусна в механике и геометрии»[30]. И в следующем письме от 25 февраля он писал о законах силы тяготения: «То, что гравитация должна быть внутренним, врожденным и существенным свойством материи, так что тело может действовать на другое на расстоянии, через пустое пространство, без какой-либо среды, и что их действие передается от одного к другому,— столь абсурдно для меня, что я верю, что никто из сведущих в философии не может впасть в этот абсурд. Гравитацию должен вызывать агент, постоянно действующий по определенным законам. Но о том, материален или нематериален этот агент, я предоставляю судить моим читателям»[31].

В заключении к третьей книге своих «Principia» он говорит следующее: «До сих пор мы объясняли явления на небе и на море на основании силы тяготения, но все еще не определили причину самой этой силы. Несомненно, что сила должна вытекать из причины, проникающей до самых центров Солнца и планет без малейшего ослабления этой силы. Она действует не пропорционально величине поверхности частиц (как обычно действуют механические причины), но пропорционально количеству твердого вещества... Причину же этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю..., гипотезам... метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам не место в экспериментальной философии... Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря»[32].

Однако на этом естествознание для него не кончалось, как ясно видно из следующего: «Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся. Благодаря его силе и действию

частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются... наэлектризованные тела действуют на бо́льшие расстояния... свет испускается... возбуждается всякое чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, которыми законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны»[33]. Этими словами закончил Ньютон свои «Principia Mathematica».

Отсюда можно понять, что и его душа стремилась к полету фантазии. Но теория его была совершенно свободна от этого. Действительно, в свою теорию он вводил только математически обоснованные расчеты. Закон всемирного тяготения позволял предсказывать и предвычислять явления, и обратно. Здесь также проявляется различие между практическим складом ума английских ученых и теоретическим складом ума их коллег с континента. Последние бились над исследованием фундаментальных истин, которым надо следовать. Первые об этом не заботились и были довольны, если могли работать с теориями и получать практические результаты. Несомненно, это различие взглядов, как уже отмечалось, коренилось в различии образа жизни народов в целом. Та же самая личная свобода и смелая энергия, которые позднее привели английскую буржуазию к мировому владычеству в области торговли и промышленности, сделали английских естествоиспытателей с их «экспериментальной» философией пионерами в науке.

Поскольку сам Ньютон претендовал не на объяснение глубочайших причин, а лишь на использование их для вывода дальнейших следствий в науке, в современной науке установился принцип: закон природы не является «объяснением», исходящим из первоначально установленных «причин». [Он — лишь краткая формулировка широкой области явлений, выведенная при помощи логического заключения и математического расчета. В ньютоновом законе всемирного тяготения наука получила первый и в течение долгого времени единственный образец закона природы как абсолютно точного, повсюду применимого правила, без исключений, с точно определенными следствиями. Этот закон с готовностью был включен Кантом в его философию, где природа представлялась царством необходимости в противоположность морали — как царству свободы.]

ГЛАВА 27

ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Широкое развитие мореплавания в XVII и XVIII вв. требовало все более совершенных астрономических данных. Гавани далеких частей света, побережья и острова необходимо было нанести на карту и определить их положения. Капитан в открытом море, вдали от берегов, должен был суметь определить свою долготу и широту, чтобы не плавать вслепую. Определить географическую широту было нетрудно, следовало лишь измерить наибольшую высоту, которой Солнце или одна из южных звезд достигали в меридиане. При этом, конечно, надо было пользоваться каталогом склонений звезд или хорошими солнечными таблицами. Для Солнца, Луны и планет существовали Рудольфинские таблицы Кеплера, а для звезд северного неба — звездный каталог Тихо. Но предъявляемые к ним требования постепенно возрастали, и задачей астрономии стало исправление таблиц. Правительства также считали своим долгом покровительствовать этой деятельности астрономов в интересах торговли.

Поскольку южное полушарие неба невидимо в Европе, сначала пришлось довольствоваться весьма грубыми положениями выше 300 южных звезд, определенными по наблюдениям плававших на юг голландских моряков: Питера Кейзера в Батавию (в 1595 г.) и Фредерика Хоутмана, когда он был в плену в Атье (в 1600 г.). С этой же целью по поручению английского правительства юный Галлей был отправлен в 1676 г. на остров Св. Елены, где он точно определил положения 350 южных звезд. Его результаты были опубликованы в качестве дополнения к каталогу Тихо, и Гевелий также включил их в свой каталог. Во время этого путешествия Галлей выполнил большое количество метеорологических, магнитных и других наблюдений, построил карту приливов и объяснил пассатные ветры вращением Земли.

Значительно труднее было найти географическую долготу. Проблема определения «долготы на море» в течение столетий оставалась наиболее известной и трудной. Долгота находится как разность между местным временем (легко получаемым по высотам Солнца или звезд) и стандартным временем нулевого меридиана (которое следует устанавливать тем или иным образом)[1].

расстояния в нашей солнечной системе. Тихо Браге пользовался еще традиционным античным значением 3′. Кеплер из выполненных Тихо наблюдений Марса вывел, что это значение не должно превосходить 1′. Около 1630 г. Венделин предпринял еще одну попытку воспользоваться старым методом Аристарха для определения, теперь уже с телескопом, более точного момента наступления квадратуры Луны. Он нашел, что это происходит тогда, когда расстояние Луны от Солнца на одну четверть градуса не доходит до 90°, т. е. оказалось, что расстояние от Земли до Солнца в 12 раз меньше, чем принимал Аристарх. Отсюда вытекало, что солнечный параллакс должен быть в 12 раз меньше, т. е. составлять 15″. Из-за шероховатости гористой поверхности Луны (мешавшей установить пограничную линию между освещенной и темной частями) этим методом нельзя было достигнуть большей точности.

Уже упомянутая экспедиция Рише в Кайенну была отправлена специально для измерения параллакса Марса, который осенью 1672 г. подходил к Земле на расстояние 0,37 а. е., т. е. был почти в 3 раза ближе к ней, чем Солнце. Для этой цели в Кайенне было измерено склонение Марса и соседних звезд; в то же время Кассини провел такие же измерения в Париже. Искомая разность находилась на пределе достижимой в то время точности. Кассини вывел, что параллакс Марса не может быть больше 25″, следовательно, параллакс Солнца не должен превосходить 10″. В качестве окончательного результата было принято значение 9″,5. Таким образом, впервые расстояние от Земли до Солнца выводилось из непосредственных измерений солнечного параллакса, который получался с относительно большой ошибкой в несколько секунд, составлявшей 1/3 или 1/4 его полного значения.

Позднее тот же метод, правда, с несколько лучшими инструментами, был еще раз применен усердным Лакайлем, который в 1750 г. отправился на мыс Доброй Надежды, где и пробыл 2 года [1]. Там он измерил параллаксы Солнца и Луны и, кроме того, определил положения большого числа южных звезд. Для параллакса Луны он получил довольно точное значение 57′5″. Для определения параллакса Солнца он использовал, кроме наблюдений Марса в противостоянии, также и наблюдения серпа Венеры вблизи ее нижнего соединения, когда эта планета находится близко к Земле. Но европейские астрономы без должного внимания отнеслись к получению корреспондирующих наблюдений, поэтому результаты получились не очень хорошие: 10″,2 по наблюдениям Марса и 10″,6 по наблюдениям Венеры, причем отдельные значения отклонялись на несколько секунд.

Однако в то время появился значительно более многообещающий метод. Находясь на острове Св. Елены в 1676 г., Галлей наблюдал прохождение Меркурия по диску Солнца. Из моментов вступления и схождения планеты с диска Солнца Галлей попытался вывести значение солнечного параллакса. Это определение, конечно, было весьма неточным, и полученный результат (45″) не имел никакого значения. Но он все же навел Галлея на мысль о том, что при замене Меркурия Венерой условия наблюдений стали бы значительно более благоприятными.

Перемещение Венеры по диску Солнца происходит так медленно, что ей необходимо 7 часов, чтобы пройти солнечный диаметр; следовательно, за 14 секунд времени ее положение изменяется на 1″. Вызываемое параллаксом смещение по высоте (22″), изменяющее длину описываемых планетой хорд, может привести к разности моментов вступления и схождения, доходящей до 5 минут. Таким образом, если, отмечая момент, наблюдатель ошибется, например, на 3 секунды, это приведет к ошибке в определении солнечного параллакса всего на 0,01 его величины. Не удивительно, что Галлей, предлагая этот метод в 1691 г., сделал следующее замечание: «Это наблюдение такого рода, которое одно только и может дать в следующем веке расстояние от Солнца до Земли, а именно, когда Венера будет находиться перед солнечным диском 26 мая 1761 г., тогда параллакс Венеры будет почти втрое больше солнечного, наблюдения будут удобными и все, что можно получить при этом, будет легко осуществимо».

Для того чтобы пройти через солнечный диск в нижнем соединении, Венера должна находиться вблизи одного из узлов своей орбиты. Так как 5 периодов планеты составляют почти 8 лет, то нижнее соединение вблизи узла повторяется через каждые 8 лет. При этом положения Венеры смещаются на 2°,4 по долготе, что вызывает изменение в широте, под которой видно Солнце, на 8′,5 и, следовательно, при наблюдении с Земли составляет разность в видимой широте в 22′. Диаметр Солнца равен 30′. Итак, два последовательных прохождения можно наблюдать через 8 лет. Затем положения соединения удаляются от узла на значительное расстояние по долготе. Более чем через столетие вблизи другого узла наступает новое соединение, так что еще с интервалом в 8 лет происходят следующие 2 прохождения. Кеплер уже ранее туманно высказывался об особой важности этих явлений. Впервые наблюдения такого прохождения были выполнены 4 декабря 1639 г. уже упоминавшимся Дж. Горроксом, который с восхищением описал его в письме к своему другу и сотруднику Кребтри. Следующие прохождения 6 июня 1761 г. и 3 июня 1769 г. (рис. 43) были предсказаны Галлеем, который в сочинении, вышедшем в 1716 г., еще подробнее обосновал важность этого явления. Он указал на желательность наблюдения моментов вступления и схождения как можно большим количеством станций по всей Земле не только на

Галилей предложил использовать для этого затмения спутников Юпитера, которые для всех мест на Земле происходят в один и тот же момент. Генеральные штаты Голландии вели с ним по этому поводу в 1635 г. серьезные переговоры. Однако таблицы были еще очень несовершенны, чтобы по ним можно было удовлетворительно вычислять эти затмения. Более многообещающим было использование долготы Луны, которая с каждым днем регулярно возрастала примерно на 13°,2 (т. е. на $^1/_{27}$ часть окружности, описываемой Луной на небесной сфере). Ошибка в измерении долготы Луны давала, следовательно, в 27 раз бо́льшую ошибку в географической долготе. Но в то время моряки были вполне довольны, если им удавалось определить долготу с точностью до двух градусов. Уже Веспуччи использовал положения Луны среди звезд для определения разности долгот между Южной Америкой и Испанией. Об этом методе сообщали также Пигафетта (штурман Магеллана) и астрономы Вернер (из Нюрнберга) и Гемма Фризиус (из Лувена). Французское правительство Ришелье установило в 1634 г. премию за лучшее решение этой проблемы. На эту премию претендовал Морин, предложивший измерять расстояния Луны от различных звезд и построить обсерваторию для определения движения Луны при помощи более точных наблюдений. Однако учрежденная для этого комиссия отказала ему в премии, так как идея Морина была не новой; к тому же он не мог представить никаких практических предложений относительно ее осуществления. Этот метод так называемых «лунных расстояний» вошел в астрономическую практику только при дальнейшем развитии астрономии в следующие столетия.

Тихо определял разности прямых восхождений звезд, вычисляя их при помощи тригонометрических формул по их расстояниям в направлении запад — восток, измеренным дугой круга. Так же поступал еще и Галлей на острове Св. Елены. Несколько раньше Йост Бюрги в Касселе пытался измерять прямые восхождения непосредственно, как моменты прохождения звезд через меридиан. Однако эта попытка потерпела неудачу из-за неправильного хода часов. Сильное трение в механизме часов искажало их суточный ход на несколько минут. Вышедшая в 1656 г. работа Гюйгенса о маятниковых часах изменила дело. Уже Галилей в 1605 г. заметил, что период колебания маятника (даже и при малых колебаниях) не зависит от амплитуды колебания и, следовательно, маятник годится для измерения времени. После этого многие (в том числе сам Галилей и его сын Винченцо) занялись вопросом о том, как сделать пригодные на практике часы с секундным маятником. Удачное решение вопроса дал Гюйгенс. Он предложил устройство, в котором маятник регулирует вращение зубчатых колес, а зубчатая передача одновременно получает

импульс, необходимый для того, чтобы размах колебаний всегда оставался одинаковым. Таким образом, часы как автоматическое устройство для счета числа колебаний стали точным измерительным прибором того времени и вместе с этим также весьма полезным астрономическим измерительным инструментом. Позднее

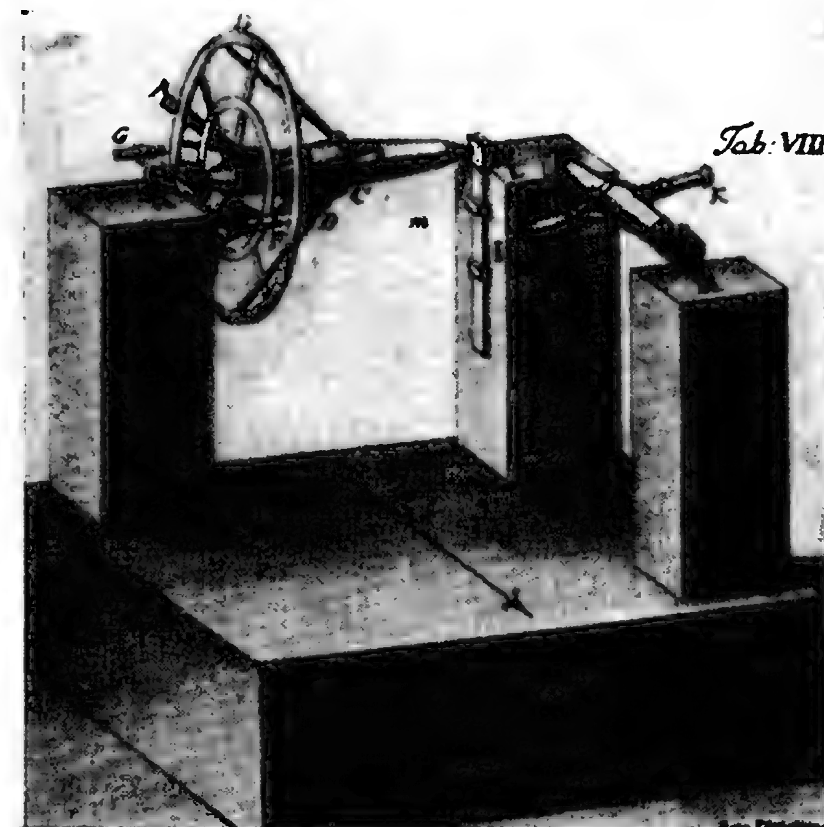


Рис. 41. Меридианный инструмент Рёмера.

Оле Рёмер на своей Копенгагенской обсерватории сконструировал наиболее подходящий для наблюдений «пассажный инструмент» (рис. 41). Он представлял собой телескоп, вращавшийся вокруг горизонтальной оси, установленной в направлении восток — запад. Телескоп мог двигаться только в плоскости меридиана. Отмеченный по часам момент прохождения звезды через вертикальную нить в фокусе трубы позволял найти прямое восхождение звезды. Ошибка в 1 секунду времени соответствовала 15″ на небе. Но, натянув несколько дополнительных вертикальных нитей, можно было уменьшить ошибку до нескольких долей секунды.

Изобретение часов дало вместе с тем и новое средство для определения долготы на море. Взяв на борт корабля хорошо идущие часы, можно было по ним непосредственно вывести время нулевого меридиана. Однако маятниковые часы нельзя было применять на качающемся судне. Здесь можно было использовать

только переносные пружинные часы. Гук совместно с Томпионом, «отцом английских часовщиков», придумал и первые заслуживающие внимания конструкции, оказавшиеся, однако, не вполне удовлетворительными на практике. Гюйгенс решил этот вопрос на основе того же принципа, используя размеренно колеблющийся регулятор — «балансир». Если бы такой «хронометр» давал время на море с ошибкой в 4 минуты, то это составляло бы по долготе ошибку всего в 1°.

В XVII в. астрономия становится делом государственной важности. Раньше, во времена Тихо, правители лично поддерживали любителей астрономии из своих собственных обширных денежных средств. Теперь же, при господстве абсолютизма, такая поддержка приняла форму государственного дела. [У поднимающейся буржуазии, крупных землевладельцев и священников под воздействием новой мировой торговли и предпринимательства формировалась новая культура, жажда к познанию тайн природы, стремление к наукам, среди которых астрономия была наиболее многообещающей.] В глазах руководителей государств она также заняла первое место благодаря практическим приложениям астрономии к нуждам географии и мореплавания, что и привело к учреждению первых обсерваторий как государственных институтов.

Когда Пикар в посвящении королю, которое он включил в свои опубликованные в 1664 г. «Эфемериды», указал, что он не мог найти во Франции инструментов, пригодных для определения высот Полярной звезды, король в 1667 г. отдал приказ о постройке в Париже обсерватории (рис. 42). Она одновременно стала и местопребыванием вновь созданной Академии наук, где устраивались собрания и проводились эксперименты. На должность директора обсерватории в Париж был приглашен из Италии разносторонний астроном Доменико Кассини, который своими последующими открытиями должен был увеличивать славу монарха. Для особо полезной практической работы по определению положений звезд, Солнца и Луны в обсерваторию был принят Пикар. С 1679 г. он стал издавать «Connaissance des Temps», первый до сих пор регулярно выходящий морской альманах. Ощущая потребность в хороших наблюдательных данных, Пикар решил изготовить снабженный телескопом квадрант радиусом в 5 футов и, установив его в меридиане, измерять высоты и время прохождения светил. Но так как все деньги были истрачены на возведение пышного здания обсерватории, этот инструмент был изготовлен только в 1683 г., уже после смерти Пикара. Его преемником в должности наблюдателя стал Ла Гир, регулярно проводивший с этого времени многочисленные наблюдения. Они послужили основой для улучшения таблиц и составления новых эфемерид. Однако эти наблюдения не были сведены в новый

звездный каталог, так как из-за отсутствия денег не приходилось и думать об их опубликовании. Они остались в архиве обсерватории, и впоследствии к ним обращались иногда некоторые исследователи.

В Англии один французский гость двора предложил провести астрономические наблюдения, необходимые для мореплавания. Его



Рис. 42. Парижская обсерватория.

предложение побудило короля Карла II запросить об этом мнение Королевского общества. Одним из членов комиссии, назначенной для составления доклада королю, был Джон Флемстид (1646—1719), который с юности занимался астрономическими наблюдениями и измерениями. Он и написал доклад, в котором доказывалась необходимость постройки обсерватории, где должны были систематически определяться положения небесных тел. Тогда король отдал в 1675 г. приказ о постройке обсерватории на холме в Гринвиче, одной из принадлежавших ему загородных резиденций. Флемстид был назначен наблюдателем под именем «королевского астронома» (с ежегодным жалованием в 100 фунтов). Этот титул («Astronomer Royal») и поныне носит директор Гринвичской обсерватории. Задача Флемстида состояла в том, чтобы «прилагать наибольшее старание и усердие к исправлению таблиц небесных движений и положений неподвижных звезд и точно так же находить столь желанные долготы мест для усовершенствования искусства навигации» [2]. Однако инструментов не было. О них должен был заботиться сам Флемстид. Ему удалось одолжить у своего друга Дж. Мура 7-футовый секстант, при помощи которого он провел в 1676—1688 гг. многочисленные измерения звездных расстояний. Он пользовался старым методом Тихо, но теперь секстант был снабжен двумя телескопами с крестами

нитей. Один, жестко закрепленный телескоп, движением всего инструмента наводился на какую-либо звезду. Другой телескоп, перемещавшийся вдоль градуированной дуги, направлялся на вторую звезду; таким образом, необходимы были два наблюдателя. Так как Флемстид не смог получить от правительства деньги на хороший инструмент, пригодный для фундаментальной работы, он построил на свои средства, с помощью искусного помощника Абрагама Шарпа, стенной квадрант радиусом в 7 футов для использования его в меридиане. Это был не настоящий квадрант, а дуга, на 50° бо́льшая[3], для того чтобы охватить весь меридиан от южного горизонта до северного полюса неба. Достигнутой на этом квадранте точностью Флемстид был обязан главным образом Шарпу, весьма искусному в нанесении точной градуировки на астрономические инструменты. [Квадрант был установлен в стене, в направлении север — юг.]

На этом инструменте, начиная с 1689 г., Флемстид, несмотря на слабое здоровье, систематически наблюдал высоты в меридиане и моменты прохождения звезд, Солнца, Луны и планет. Он не ограничивался одними наблюдениями, а готовил их также к публикации. Все же его «Historia coelestis Brittannica» с положениями 3000 звезд впервые появилась только в 1725 г., после его смерти. По точности и числу звезд она превзошла все прежние каталоги. Здесь звезды располагались в каждом созвездии по прямым восхождениям (а не по долготам, как раньше) и обозначались последовательными номерами, которые позднее вошли в употребление. Так, одна звезда была названа 61 Cygni потому, что в списке Флемстида она стоит под 61 номером в созвездии Лебедя. В 1729 г. был опубликован основанный на этом каталоге звездный атлас, позднее часто переиздававшийся.

Теперь практическая астрономия стала систематическим занятием особо назначавшихся специалистов, чаще всего государственных служащих, обязанность которых состояла в проведении астрономических наблюдений.

Хотя сенсационные открытия, конечно, встречались и теперь, главным занятием стала тщательная, терпеливая и самоотверженная рутинная работа. Однако это была постоянно обновлявшаяся рутина, боровшаяся за достижение все более высокой точности при помощи дальнейшего улучшения методов и инструментов. Это явилось основой победного шествия астрономии в следующие столетия. [Положения звезд следовало измерять для того, чтобы они могли послужить основой для изучения всех движений в мировом пространстве, так как определения Тихо теперь оказались недостаточно точными. Но это было еще делом будущего. Сравнив в 1718 г. современные значения широт Альдебарана, Сириуса и Арктура с результатами Птолемея, Гиппарха и

Тимохариса, Галлей установил, что все три звезды должны были находиться более чем на 0,5° южнее, чем это следовало из данных античных наблюдателей. «Что мы должны об этом сказать? Едва ли можно поверить тому, что древние ошиблись при решении столь простой задачи, причем все три наблюдателя подтверждают друг друга. С другой стороны, эти звезды, являясь самыми заметными на небе, по всей вероятности, наиболее близки к Земле; а если они имеют особое собственное движение, то это — наиболее подходящий случай для того, чтобы его заметить...»[4]. Следовательно, так называемые «неподвижные» звезды не занимают на небе фиксированного положения. Они перемещаются по небесной сфере, а поэтому и в пространстве. Этот неожиданный результат привел к новому представлению о мире. Он послужил также особой причиной для непрерывно повторяющегося измерения положений звезд со все возрастающей точностью.][5]

Наиболее необходимой и самой многообещающей работой было наблюдение быстро движущихся тел — Луны и планет. Оказалось, что Рудольфинские таблицы не точно представляют их действительное движение; повсюду обнаруживались отклонения порядка одних суток. Частично их можно было устранить путем уточнения численных значений элементов орбит. Но точно ли планеты следовали законам Кеплера? Хотя в основном истинность этих законов подтверждалась, встречались все же и отклонения, доходившие до одних суток. Галлей в 1676 г. заметил, что Сатурн движется медленнее, а Юпитер быстрее, чем следует по таблицам. Периоды их обращений со времени Кеплера изменились. Но когда и в новых, более точных наблюдениях были обнаружены небольшие отклонения, должна была возникнуть мысль о том, что законы определяют только усредненную, нормальную орбиту. Подобно тому, как температура изменяется со временем года, возможно, и реальное движение отклонялось от среднего, в результате чего планета совершала неправильные причудливые колебания. К счастью, в это время Ньютон вывел закон всемирного тяготения, по которому планета, притягиваемая Солнцем, должна была строго подчиняться законам Кеплера. Но по тому же самому закону все тела притягиваются друг к другу. Каждая планета притягивается, помимо Солнца, также и другими планетами. Однако столь многочисленные воздействия оказались меньше обнаруженного эффекта, так что все еще следовало искать причину, по которой планеты отклонялись от кеплеровых эллипсов. Эти отклонения, хотя и причудливые, все же определялись строгими причинами.

ГЛАВА 28

АСТРОНОМЫ В ПУТИ

С расширением навигации по океанам стали устраиваться также и экспедиции астрономов в отдаленные части света для решения отдельных или общих проблем. Экспедиция Галлея на остров Св. Елены уже упоминалась. Большую инициативу в организации экспедиций проявляли только что учрежденные общества. В первую очередь это относится к Парижской академии, члены которой как «пенсионеры» короля могли обращаться в государственную казну за деньгами на дополнительные расходы.

Так, в 1671 г. член этой академии Рише был отправлен во французскую колонию Кайенну для наблюдения звезд и планет с целью определения солнечного параллакса. Однако эта экспедиция прославилась своими побочными результатами. Рише взял с собой маятниковые часы, которые предварительно были хорошо отрегулированы в Париже. По прибытии в Кайенну он заметил, что часы стали отставать на 2 минуты в сутки, а их маятник пришлось укоротить на $^1/_{380}$ его длины. Вскоре Рише понял, что это произошло из-за уменьшения силы тяготения центробежной силой земного вращения, которая на экваторе возрастала. После возвращения в Париж в 1673 г. пришлось снова восстановить первоначальную длину маятника. Уменьшение силы тяжести за счет центробежной силы можно точно вычислить. Оно оказалось равным $\frac{1}{580}$ — значительно меньше, чем нашел Рише. Гюйгенс и Ньютон рассматривали эту разность как эмпирическое подтверждение их теоретического вывода о сплюснутости Земли у полюсов. Выше уже упоминалось, что французские астрономы на основе своих градусных измерений оспаривали это мнение, полагая, что Земля должна быть вытянута у полюсов.

Когда же в начале XVIII в. теория гравитации Ньютона стала проникать также и во Францию, французские ученые поняли, что небольшое различие в длине градуса меридиана между севером и югом Франции не могло быть решающим для вопроса о фигуре Земли. Парижская академия решила послать экспедицию для измерения дуги меридиана у экватора. В случае сплюснутости Земли кривизна меридиана у экватора должна была быть больше, чем в Европе, следовательно, длина дуги 1° меридиана должна

была у экватора быть меньше, чем у полюсов. В 1735 г. Бугер и Ла Кондамин отправились в Перу (в его северную часть, называемую теперь Эквадором) и измерили там в вытянутой с севера на юг горной долине Кито дугу меридиана в 3°. Им предписывалось также измерить длину градуса долготы в направлении восток — запад. В случае сплюснутости Земли у полюсов она должна была быть больше, в случае вытянутости — меньше, чем градус широты. Однако в этой огромной горной стране (Андах) с вытянутыми с севера на юг горными цепями такие измерения оказались невозможными. Кроме того, определение разности долгот было значительно менее точным, чем измерение разности широт. Из-за больших трудностей и разногласий астрономы вернулись обратно только в 1743 г. Но результат их работы был убедительным и решающим: в Кито Бугер нашел, что длина 1° меридиана составляет 56 753 туазов, т. е. заметно меньше значения 57 057 туазов во Франции.

Между тем еще вскоре после отъезда Бугера и Ла Кондамина из Франции Мопертюи предложил послать вторую экспедицию на дальний север для того, чтобы сделать этот результат еще более убедительным.

В 1736 г. Мопертюи в сопровождении Клеро и нескольких других молодых ученых отправились в Лапландию. Вблизи Торнио, с большими трудностями из-за сильных морозов, они измерили отчасти по берегу, а отчасти по реке дугу меридиана в 0°57′. Результат этих измерений: 1°=57 438 туазов, дал убедительное доказательство в пользу сплюснутости Земли. Поскольку Мопертюи сразу же после завершения работ вернулся во Францию (1738 г.), он мог считаться первым, установившим на опыте истинную фигуру Земли. Однако численные значения результатов обеих экспедиций при более строгом рассмотрении оказались расходящимися. Из разности дуг Торнио — Париж вытекала сплюснутость в $^1/_{114}$, а из разности Кито — Париж получалась значительно меньшая величина $^1/_{279}$. Более поздние измерения показали, что последнее значение было почти правильным — наблюдения в Перу проводились с большой тщательностью и точностью. В Лапландии трудности были значительно больше. Попав в условия суровой лапландской зимы, когда замерзала ртуть в термометрах, а к металлическим инструментам едва можно было прикоснуться, ученые поспешили возвратиться домой как можно скорее, что отразилось на полученных результатах. Повторные измерения, проведенные в XIX в., показали, что разность широт, найденная Мопертюи, была сильно заниженной.

Другие экспедиции XVIII в. были связаны с проблемой определения солнечного параллакса — фундаментальной величины, определяющей расстояние Земли от Солнца, а следовательно, и все

юге и севере, но также далеко на востоке и на западе, где был виден только один из двух контактов.

Когда подошло время наблюдения явления, призыв Галлея нашел отклик в астрономическом мире. Многие астрономы Англии и Франции отправились в отдаленные и малоизвестные места. В 1761 г. прохождение Венеры по всей Азии и северному полярному району было видимо полностью, тогда как в Западной Европе

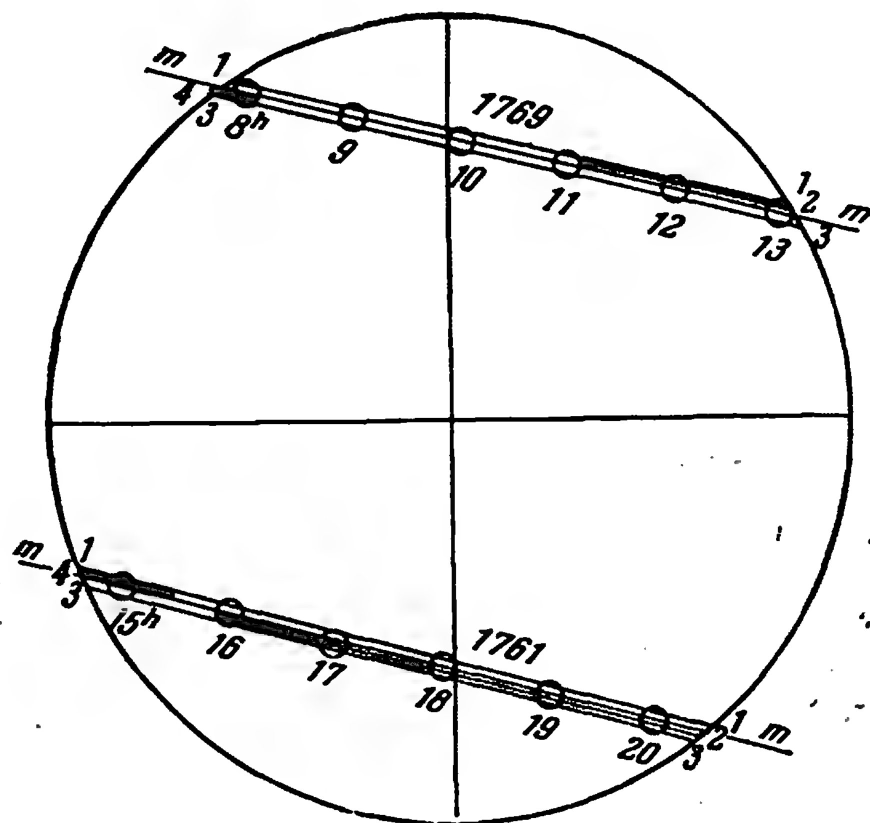


Рис. 43. Прохождение Венеры по диску Солнца. *mm* — траектории центра диска планеты: 1761 г. (*1* — Родригес, *2* — Париж, *3* — Тобольск, *4* — Таити) и 1769 г. (*1* — Таити, *2* — Батавия, *3* — Вардё, *4* — Париж).

и Атлантическом океане наблюдалось только схождение, а на островах Австралии — только вступление. Пингре поехал на остров Родригес в Индийском океане, Шапп д'Отерош — в Тобольск (в Сибири), Маскелайн — на остров Св. Елены, Масон и Диксон — на мыс Доброй Надежды, патер Хелл (из Вены) —в Вардё (в Норвегии), Лежантиль — в Индию [2]. Еще больше экспедиций было отправлено в 1769 г., когда все явление целиком было видимо на Тихом океане, в Западной Америке и на Северном полюсе; конец его — в Восточной Азии и Индии, а начало — в Западной Европе и Восточной Америке. Шапп д'Отерош поехал в Калифорнию, Пингре — на остров Сан Доминго, Уэйлс — в Гудзонов залив,

капитан Кук с некоторыми астрономами — на Таити; несколько русских наблюдателей — в различные места Сибири [3], Хелл — опять на Вардё, где Венера должна была пройти через полуночное Солнце; многие ученые Европы, Америки и Азии, в том числе и священник Мор (из Батавии), наблюдали явление на своих домашних обсерваториях.

Результаты не оправдали возлагавшихся на них больших надежд. Ход явления был настолько медленным, что нечего было и говорить о десятых долях секунды, когда имело место самое начало появления на солнечном крае выемки или последнее исчезновение темной дольки. Этого ожидали, но надеялись, что моменты второго и третьего контактов, т. е. внутренних контактов огромного светящегося диска с крошечным темным, можно установить весьма точно. Однако было замечено, что в момент первого контакта маленький диск планеты выглядит как черная капля, связанная с краем Солнца тонкой черной нитью. Когда же эта нить обрывалась, Венера уже оказывалась вступившей на солнечный диск. Стало понятно, что это явление было вызвано некоторого рода иррадиацией или дифракцией. Но как же тогда узнать правильный момент прикосновения? Не удивительно, что даже стоящие рядом наблюдатели, поскольку телескопы их были различны, получали результаты, отличавшиеся друг от друга на десятые доли секунды. Озадаченные неожиданным явлением, они ничем не могли объяснить различий в наблюденных моментах. Против Хелла впоследствии даже было выдвинуто обвинение (вероятно, несправедливое) в том, что он свои результаты позднее изменил и подделал.

Результаты определения солнечного параллакса, выведенные различными вычислителями из разных комбинаций тех или иных наблюдений, также весьма значительно отличались от того, на что ранее столь оптимистически надеялся Галлей. Это произошло еще и потому, что географическая долгота многих наблюдательных пунктов была известна лишь грубо приближенно или даже совсем неизвестна. В 1761 г. долготы выводились главным образом по наблюдениям затмений спутников Юпитера. Эти наблюдения приходилось выполнять самим участникам экспедиций. В 1769 г. удалось воспользоваться для этой цели частным солнечным затмением, происшедшим в тот же самый день. Для величины солнечного параллакса были получены всевозможные значения между 8″,55 и 8″,88. И все же это означало заметный прогресс. Вместо многих секунд, как раньше, отдельные результаты отличались теперь лишь на несколько десятых долей секунды. Если раньше параллакс, а следовательно, также и расстояние от Солнца были известны с точностью всего до $^1/_3$ или $^1/_4$ своей величины, [теперь можно было сказать, что оба новых значения были надежны, по

крайней мере до $^1/_{30}$ или $^1/_{40}$ своей величины]. Таким образом, экспедиции XVIII в. по наблюдению прохождения Венеры полностью себя оправдали.

Условия, в которых проводились эти астрономические экспедиции, нельзя и сравнивать с современными. Тогда путешествия были связаны с большими трудностями и риском. Очень мало было известно о дальних странах и побережьях, а еще меньше — об их природных условиях. Понятно, что Мопертюи встретил бы значительно меньше трудностей в своих градусных измерениях на севере, если бы вместо холодного Ботнического залива он выбрал Атлантическое побережье, еще более северное, но благодаря омывающему его Гольфстриму имеющее мягкий климат. Политические события и войны на море мешали свободному путешествию. Из-за того, что кораблю, на котором Лежантиль плыл в Индию, приходилось кружить, избегая столкновений с английскими военными судами, он прибыл в Пондишери только тогда, когда прохождение Венеры 1761 г. уже закончилось. Чтобы не упустить следующую возможность, Лежантиль остался в Индии, занимаясь различной полезной работой. Но прохождение Венеры в 1769 г. было закрыто облаками. В связи с неудачей, которую потерпела французская научная экспедиция благодаря враждебным действиям английского флота, интересно напомнить о том, что правительство Франции отдало приказ всем военным судам беспрепятственно пропускать корабли капитана Кука, так как результаты его экспедиции должны были служить «на счастье и пользу всего человечества».

Так как путешествовавшие астрономы были в основном разносторонне одаренными людьми, они привезли с собой множество сведений и данных, относящихся к различным областям науки. Так, Бугер в Кордильерах у Кито впервые открыл притяжение своего отвеса к большим горам. Впоследствии это явление позволило впервые определить массу Земли. Ла Кондамин в 1738 г. дал первое описание хинного дерева в Перу, из коры которого изготовлялся хинин, уже известный в Европе. Многие из этих астрономов издавали книги с описанием своих работ и приключений, которые наряду с описаниями путешествий таких исследователей-географов, как Кук и Де Бугенвилль, нашли многочисленных читателей. Среди поднимающейся буржуазии во Франции, Англии и других странах постепенно возрастал интерес к знаниям в области изучения природы дальних стран. При этом особое место занимали путешествия астрономов, приключения на небе и на земле.

ГЛАВА 29

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРАКТИКИ

С астрономическими измерениями не все еще было в порядке. Правда, точность их значительно возросла, а источники ошибок тщательно изучались. Наиболее неприятным из этих источников была рефракция, т. е. преломление лучей в атмосфере. Кассини на основании своих наблюдений составил таблицу рефракции. Ньютон указал, что рефракция зависит от температуры и давления воздуха, которые можно контролировать при помощи термометра и барометра. Некоторые астрономы в этот и следующий период работали над проблемой вывода из наблюдений и теории истинного хода рефракции с высотой звезды над горизонтом и над составлением поправочных таблиц. Однако и после учета поправок, величины склонений неподвижных звезд, которые были определены в Париже и Гринвиче, иногда отличались более, чем на 10″, что заметил уже Пикар. Флемстид полагал, что эти различия, которые как будто бы зависели от времени года, могли вызываться годичным параллаксом звезд. Однако коллеги указывали ему на то, что тогда изменение со временем года должно было иметь другой характер. Из-за годичного параллакса звезда должна была смещаться к той точке эклиптики, где находилось Солнце, а этого не наблюдалось. Гук несколько раз повторно измерял зенитные расстояния звезды, кульминирующей вблизи зенита (так что рефракция не играла роли), и нашел вариации, которые приписал годичному параллаксу.

Для решения вопроса о характере изменения склонений Молинё установил в 1725 г. в своем поместье Кью, близ Лондона, инструмент, специально предназначенный для точных измерений. Он состоял из зенитного сектора, дуга которого охватывала лишь несколько градусов, но с очень большим радиусом в 24 фута. Инструмент был установлен вертикально в меридиане так, чтобы можно было направлять телескоп на звезду, кульминирующую в зените. Таким образом, изменения склонения можно было установить очень точно. Как выяснилось впоследствии, ошибка этих измерений не превышала 2″. Вскоре после начала этих работ Молинё был назначен в Адмиралтейство, и ему пришлось отказаться от наблюдений, которые взял на себя его юный друг Джемс Брад-

лей (1692—1762), профессор в Оксфорде (с 1721 г.), принимавший участие во всех подготовительных работах. Звезда γ Draconis, первый объект наблюдения, действительно регулярно изменяла свое положение: с декабря 1725 г. до марта следующего года она сместилась на 20″ к югу, затем повернула обратно, продвинулась до сентября на 40″ к северу, снова повернула и в декабре вернулась к своему первоначальному положению. Таким образом, это было периодическое изменение в течение 1 года. Однако оно не могло быть параллактическим смещением, так как в этом случае звезда должна была бы удаляться в декабре как можно больше к югу, а в июне — столь же сильно к северу.



Рис. 44. Джемс Брадлей.

С 1727 г. Брадлей начал наблюдать и другие звезды при помощи более широкого сектора меньшего радиуса (12 футов), который охватывал 6° в обе стороны от зенита. Он нашел, что положения всех звезд испытывают такие же периодические изменения, тем меньшие, чем ближе к эклиптике располагались звезды. Вскоре, в 1728 г., Брадлей объяснил это явление аберрацией лучей света. Так как телескоп переносится вместе с Землей при ее движении по орбите, а луч света распространяется со скоростью в 10 000 раз большей, то для того, чтобы поймать его, телескоп приходится несколько наклонять в направлении движения Земли. Открытие аберрации было первым экспериментальным доказательством годичного движения Земли и подтверждением правильности теории Коперника.

Но это было еще не все. Когда Брадлей уже в следующие годы исследовал свои наблюдения γ Draconis, он заметил, что существует еще вторичное колебание: попеременно с периодом в 9 лет склонение звезды то возрастает, то убывает на 18″. Это изменение, общее для всех звезд, было подтверждено одновременными наблюдениями Лемонье в Париже. В 1748 г. это явление удалось объяснить как «нутацию», т. е. незначительное возмущающее движение земной оси, накладывающееся на уже известное медленное и более заметное прецессионное движение. В результате этого земная ось описывала в пространстве, помимо большого прецессионного конуса, еще и малые конусы из-за нутации. Период в 18 лет, равный времени обращения узлов лунной орбиты, наклон которой к экватору колеблется между 18° и 28°, указывал на то, что причиной этого явления было воздействие изменяющегося притяжения Луны на сплюснутую Землю.

«Точность современной астрономии,— говорил Деламбр,— была достигнута благодаря двум этим открытиям Брадлея. Эта двойная заслуга обеспечила ему наивысшее место после Гиппарха и Кеплера и выдвинула его в число величайших астрономов всех времен и народов» [1]. Хотя эта похвала и может показаться слишком щедрой, первое предложение — совершенно точно. Если из-за аберрации и нутации положения звезд изменялись на 30″ и более, то нельзя было надеяться на измерения с более высокой точностью, например до 10″. Только освободив результаты измерений, помимо перемещения за прецессию, также еще и от перемещений за счет этих двух величин (аберрации и нутации), колебания которых можно было точно вычислить, удалось бы получить твердые значения координат звезд, которые еще сильно расходились из-за действительно неизбежных ошибок наблюдения. Теперь оставалось только уменьшить эти ошибки, усовершенствуя инструменты и методы наблюдения. Конечно, измерительные инструменты также улучшились, благодаря тому, что повсюду появились мастера, исключительно искусные в их изготовлении. Флемстид сам делал квадранты при помощи своего сотрудника Шарпа. Большего совершенства в их изготовлении добился Георг Грэхэм, сделавший для Молинё и Брадлея те инструменты, с помощью которых были открыты аберрация и нутация. При этом он использовал остроумный метод для точного градуирования квадрантов и малых секторов, применив отсчет делений при помощи вращающегося винта.

Когда Галлей в 1720 г. стал преемником Флемстида на посту директора Гринвичской обсерватории, он обнаружил, что все инструменты увезены наследниками Флемстида, который был его личным врагом [2]. Тогда обсерватория была оснащена новыми инструментами за счет государства. Все они были заказаны Грэхэму. Бирд, молодой сотрудник Грэхэма, который и выполнял заказ, впоследствии изготовлял в своей мастерской инструменты не только для астрономов Гринвича, но и для многих европейских обсерваторий. Благодаря превосходному исполнению точность инструментов Бирда достигла высокого уровня. В 1767 г. он получил от правительства 500 фунтов стерлингов за составление общедоступного руководства с изложением его метода точного градуирования кругов.

Такое развитие инструментостроения стало возможным только потому, что возник широкий спрос на измерительные средства, в первую очередь для нужд навигации. Для того чтобы определить положение корабля в открытом море посредством измерения высот Солнца и звезд, а также лунных расстояний, были необходимы точные инструменты, которые можно было бы держать в руках, стоя на качающемся судне. С эпохи средневековья постоянно пользовались жезлом Якова (поперечной рейкой); но при этом даже самые искусные штурманы не могли добиться точности, превосходящей нескольких минут дуги. Ньютон уже около 1700 г. предложил инструмент, в котором при помощи зеркал лучи света от двух небесных тел сводились в один и тот же телескоп, причем каждый пучок света проходил через половину отверстия объектива. Однако эта конструкция не была опубликована и так и осталась неизвестной. Подобное же изобретение Томаса Годфри из Филадельфии, по-видимому, осталось неизвестным в Европе (см.: Chauvenet, Spherical and Practical Astronomy, Philadelphia, 1885, II, p. 92). Следует также упомянуть и аналогичное изобретение М. В. Ломоносова (Полное собрание сочинений, т. 4, стр. 438). В 1731 г. Джон Гадлей опубликовал описание зеркального квадранта, позднее для удобства замененного секстантом. На качающемся судне, держа в руках этот инструмент, можно было с большой точностью определить расстояние между двумя небесными телами (или удаленность Солнца от видимого горизонта). Наводя инструмент на измеряемые объекты, совмещали оба изображения в поле зрения телескопа. Этот секстант с тех пор стал необходим каждому штурману.

Благодаря быстрому развитию английского мореплавания по всей Англии началось массовое изготовление этих инструментов, вскоре превратившееся в процветающее искусство, от непрерывного развития которого выгадала и астрономия.

Так как в XVIII в. Англия все более захватывала первенство в торговле и навигации, проблема определения долготы на море приобретала для нее все бóльшую важность. По предложению Ньютона (с 1701 г. он заседал в парламенте как представитель Кембриджского университета) правительство установило высокую премию (30 000 фунтов стерлингов) за надежный способ определения долготы в открытом море с точностью до $^1/_4{}^\circ$. Позднее были назначены еще и мéньшие премии за частные решения проблемы.

Одним из наиболее многообещающих способов было улучшение часов, хранящих время нулевого меридиана. Как маятниковые часы, так и пружинные переносные хронометры изменяли свой ход с температурой из-за теплового расширения металлических частей. Грэхэм (упоминавшийся выше как способный инструментальный мастер, который был учеником Томпиона в часовом деле) в 1726 г. опубликовал способ изготовления маятниковых часов, нечувствительных к изменениям температуры. Это достигалось заменой линзы маятника сосудом, наполненным ртутью. Его младший коллега Гаррисон примерно в то же время построил «решетчатый маятник», который давал тот же результат благодаря комбинации прутов из различных металлов с разными коэффициентами расширения. Затем, применив этот принцип к пружинному балансиру хронометров, Гаррисон добился того, что ход хронометра почти перестал зависеть от температуры. Испытав свои часы во время путешествия по океану в 1761 г. и в 1765 г. и доказав их отличные качества, он получил сначала 5000, а затем 10 000 фунтов стерлингов (с обязательством опубликовать описания своих методов изготовления хронометров). С этого времени не только в Англии, но также и во Франции различные способные мастера, среди которых наиболее знаменитыми были Ж. А. Лепот и Фердинанд Берту, стали изготовлять непрерывно улучшающиеся часовые механизмы, предназначенные специально для определения долгот на море.

Высокое развитие в Англии мастерства изготовления навигационных и астрономических инструментов привело к важным для астрономии следствиям. В книгах по истории техники упоминается о том, что большинство изобретателей прядильных машин, начавших промышленную революцию в Англии, таких как Аркрайт, Харгривс, Кромптон, обучались тонкому искусству изготовления точных инструментов в часовых мастерских [3]. От часовщиков они получили умение воплощать свои остроумные идеи в реальных механизмах. Таким образом, потребность в астрономии и ее практическое применение косвенно способствовали возникновению в Англии большой машинной индустрии.

В 1742 г., после смерти Галлея, директором Гринвичской обсерватории был назначен Брадлей. Его не удовлетворяли наблюдения на имевшихся инструментах, и он поручил Бирду изготовление более крупных и хороших. Это были: пассажный инструмент с 8-футовым телескопом (для определения прямых восхождений) и стенной квадрант (рис. 45) с радиусом в 8 футов (для определения склонений). На этих инструментах он с 1750 г. вплоть до своей смерти в 1762 г. проводил обширные ряды наблюдений звезд, Солнца, Луны и планет, которые превзошли по точности все прежние работы. Еще большее значение, чем точность снятия отсчетов, имела в достижении этого результата точность, полученная путем тщательного определения и исключения систематических ошибок, вызываемых инструментами и условиями наблюдений. Небольшой наклон горизонтальной оси пассажного инструмента всегда определялся при помощи уровня. Для правильного вычисления рефракции учитывались температура воздуха и показания барометра.

Благодаря этому при последующей обработке можно было на основании наблюдений установить все источники ошибок, искажающие полученные результаты, и исключить их влияние. Это было очень важно потому, что необходимо было быстро определять положения Луны, и на связанную с этим тщательную редукцию неподвижных звезд не оставалось времени.

После смерти Брадлея между его наследниками и Британским Адмиралтейством вспыхнул спор о праве собственности на 13 томов его журналов наблюдений и рукописей. В результате судебных процессов, длившихся в течение ряда лет, стороны пришли к соглашению о передаче трудов Брадлея Оксфордскому университету для опубликования. Они были напечатаны в 1798—1805 гг. Обработку этого материала взял на себя Бессель. Его результаты были опубликованы в 1818 г. под названием «Fundamenta Astronomiae, ex observationibus, viri incomparabilis James Bradley» («Основы астрономии по наблюдениям несравненного Джемса Брадлея»). Этот труд благодаря высокому качеству исполнения стал основой астрономии начала XIX в. В каталоге были собраны данные примерно для 3000 звезд, причем ошибки в определении их координат (прямого восхождения и склонения) не превосходили нескольких секунд дуги.

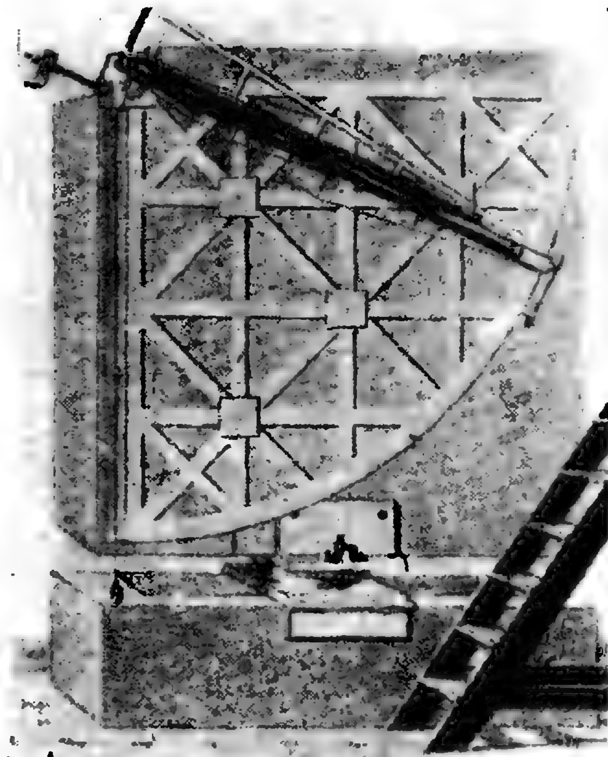


Рис. 45. Квадрант Бирда.

Для Гринвичской обсерватории Брадлей установил стандарт тщательности рабочих методов, которого придерживались и его последователи — Маскелайн и Понд. Одновременно с ним к этому стандарту приблизились (хотя и не достигли его) такие способные и упорные наблюдатели, как Тобиас Майер из Геттингена и Лакайль из Парижа. Оказалось, что в их каталогах (первых хороших каталогах после Флемстида), дававших прямые восхождения и склонения нескольких сотен ярких звезд, средние ошибки в определении звездных положений не превышали 4″—5″. В 1750 г. Лакайль со своими инструментами отправился на мыс Доброй Надежды для определения возможно большего числа положений южных звезд и с целью вывода параллаксов Солнца и Луны. Его каталог

содержал 10 000 звезд, в основном телескопических (седьмой и восьмой величины). Таким образом, теперь звезды южного неба оказались каталогизированными даже более полно, чем известные с древности звезды северного полушария неба.

Важным шагом в подготовке достижения еще большей точности наблюдений явилось улучшение оптики инструментов. Чтобы понять пути развития телескопостроения, нам придется сначала вернуться на столетие назад. Углубленно занимаясь оптическими исследованиями в 1660—1670 гг., Ньютон открыл при этом явление хроматизма (разной преломляемости лучей различных цветов), при котором любое преломление света, например призмой, приводит к дисперсии различных цветов в спектр. Он заметил, что это явление и служит главной причиной окрашивания изображения в телескопах. Поскольку лучи разных цветов не удается свести в один фокус, все попытки улучшить изображение изменением формы линз остаются безнадежными [4]. Таким образом, он пришел к мысли об использовании вместо линз вогнутого зеркала, позволяющего собрать лучи разных цветов в один фокус. Еще раньше Дж. Грегори предложил конструкцию отражательного телескопа, в котором лучи, отраженные вогнутым зеркалом, после второго отражения от малого вогнутого зеркала попадали в глаз наблюдателя через отверстие в середине главного зеркала. Однако оптикам не удалось хорошо отшлифовать вогнутое зеркало. Ньютон сам принялся за эту работу и с величайшей тщательностью, несмотря на большие трудности, отшлифовал вогнутое металлическое зеркало. Оно было использовано для изготовления в 1671 г. отражательного телескопа, вызвавшего большой интерес среди членов Королевского общества, в архивах которого он до сих пор хранится. В этом телескопе изображение, получаемое в фокальной плоскости, отбрасывалось плоским зеркалом, наклоненным под углом в 45°, и рассматривалось через расположенный сбоку окуляр. Оказалось, что этот маленький инструмент, длиной всего в 6 дюймов (15 *см*), с отверстием «чуть больше дюйма» [5] и увеличением в 40 раз, позволял рассматривать такие же детали небесных тел, как и линзовые телескопы длиной в 3 или 4 фута.

Это открытие оставалось фактически неиспользованным почти до 1720 г., когда Джемсу Шорту из Эдинбурга удалось так хорошо научиться шлифовать вогнутые зеркала, что он смог наладить регулярную торговлю отражательными телескопами, ставшими обычным видом продукции его мастерской. Телескопы системы Грегори благодаря большому отверстию были весьма светосильными. Кроме того, они были инструментами прямого зрения. Изображение отбрасывалось в них на маленькое вогнутое зеркальце и рассматривалось затем через отверстие в середине главного

зеркала. Из-за большой светосилы и простоты в обращении эти телескопы стали у любителей астрономии и астрономов излюбленными инструментами для общего рассматривания небесных тел. Им отдавалось явное предпочтение перед длинными, неудобными линзовыми телескопами, дававшими плохие и слабые изображения. Однако к зеркальным телескопам трудно было приспособить измерительные инструменты, поэтому для измерений использовались длинные рефракторы с малым отверстием. Так, 8-футовый пассажный инструмент Брадлея имел объектив всего в 1,6 дюйма.

Ньютон считал устранение хроматизма невозможным, так как полагал, что дисперсия, хотя и различная для сред разной плотности, должна быть прямо пропорциональна преломлению. Однако после того, как в следующем столетии Л. Эйлер выразил сомнение в существовании такой пропорциональности[6], а шведский физик Клингенштьерн экспериментально доказал неправильность такого утверждения, Джону Доллонду из Лондона (находившемуся в переписке с обоими учеными) после долгих поисков и экспериментов удалось в 1757 г. подобрать комбинацию стекол, устранявшую хроматизм. Между двумя положительными (двояковыпуклыми) линзами из обычного стекла (кронгласа) он поместил отрицательную (двояковогнутую) линзу из сильнее преломляющего и дающего значительно бóльшую хроматическую аберрацию так называемого флинтгласа. Так была осуществлена «ахроматическая» система линз, которая сводила лучи различных цветов в один фокус.

Это изобретение имело огромное значение. Оно открыло в следующем столетии дорогу беспредельному развитию астрономических телескопов. Поскольку хроматическая аберрация была теперь уменьшена, можно было продолжить прежнюю работу Гюйгенса по изучению наиболее эффективной формы линз. Джон Доллонд и его сын Петер основали мастерскую по изготовлению ахроматических телескопов[7], и вскоре такие инструменты получили широкое распространение, вытеснив как старые однолинзовые телескопы, так в значительной степени и отражательные. Их размер лимитировался отверстием в 3 или 4 дюйма (почти 10 *см*), поскольку больших флинтовых блоков хорошего качества не могли тогда отлить. Но инструменты с фокусным расстоянием в 4 фута были очень удобны в обращении. Они давали резкие и яркие изображения звезд на большем поле зрения, чем рефлекторы. Во время экспедиций для наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца использовались как ахроматические, так и зеркальные телескопы.

Изобретение Доллонда внесло весьма важные усовершенствования в астрономические измерительные инструменты. Применявшиеся для этого телескопы с длинными, тонкими трубами и маленькими объективами давали довольно плохие изображения звезд. С ахроматическими объективами эти изображения превратились в очень резкие яркие светлые точки, которые выдерживали увеличение более сильными окулярами, так что можно было крест нитей делать более тонким. Теперь отверстие телескопов данной длины как бы увеличилось, слабые телескопические звезды можно было ясно увидеть и точно пронаблюдать.

В существовавшие до тех пор каталоги входили, помимо звезд, видимых невооруженным глазом, звезды седьмой, самое большое — восьмой величины. Отныне появилась также возможность измерять при помощи инструментов положения множества слабых звезд.

Самые лучшие инструменты (ахроматические телескопы) выпускала мастерская Дж. Рамсдена, зятя Джона Доллонда. В 1772 г. Маскелайн установил в Гринвиче брадлеевский инструмент с такими ахроматическими телескопами. Поскольку он наблюдал прохождение резкого изображения звезды через 5 нитей и измерял моменты прохождения с точностью до 0,1 секунды (Брадлей отмечал их с точностью только до $1, 1/2$ или $1/3$ секунды), точность определения прямых восхождений у него значительно возросла.

Английскими инструментами Рамсдена стали оборудоваться многие обсерватории за пределами Англии. Так, когда Дж. Пиацци была поручена организация обсерватории в Палермо, он заказал Рамсдену 5-футовый вертикальный круг, вращавшийся на 3-футовом горизонтальном круге; оба были снабжены микроскопами для снятия отсчетов. На этих инструментах Пиацци весьма тщательно определил в 1792—1802 гг. положения 6748 звезд; позднее их число возросло до 7646. Таким образом, был установлен еще более высокий стандарт точности и совершенства в определении звездных положений, ошибка которых не превосходила нескольких секунд. Достижения Брадлея в точности наблюдений, которой он добился благодаря своему способу обращения с инструментами, были оценены лишь позднее, в результате проведенной Бесселем редукции.

ГЛАВА 30

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕОРИИ

Вихревая теория Декарта была фактически уничтожена ньютоновой теорией всемирного тяготения. Правда, в Англии еще долгое время пользовались учебниками физики, основанными целиком на взглядах Декарта, но с приложениями и дополнениями, излагавшими учение Ньютона. Однако университетские ученые, способные математики, изучали Ньютона и излагали в своих лекциях доказательства, содержавшиеся в его «Principia...». К каждому новому изданию старых учебников добавлялись заключения с объяснением учения Ньютона. Таким образом Ньютон получил признание в английских университетах еще при жизни.

Гораздо медленнее распространялась теория Ньютона на материке Европы. Во Франции только независимо мысливший Де Лувилль около 1722 г. был известен как ее сторонник. Власть и традиции старого учения были еще сильны. Но теперь это положение стало изменяться. Во Франции, потерпевшей поражение со стороны Англии и переживавшей падение своего могущества, возникло недовольство политикой правительства и устройством общества. В XVIII в. этот дух сопротивления становился все сильнее и привел к возрастанию значения и силы буржуазии, которая присматривалась к более свободной организации общественной и политической жизни Англии, как к примеру, достойному подражания. Таким образом, французы были уже подготовлены к принятию основ английского образа мышления. Одним из первых глашатаев этого преобразования идей был Вольтер, написавший в 1728—1730 гг. свои «Письма из Лондона об английском». Здесь, наряду с квакерами, английской церковью, парламентом, торговлей, оспопрививанием, литературой, шла речь также и о науке, о Бэконе и Ньютоне. Так, в начале своего четырнадцатого письма о Декарте и Ньютоне Вольтер писал: «Француз, который попадает в Лондон, обнаруживает, что все совершенно изменилось в философии — точно так же, как и во всем другом. Там — он оставил заполненный мир, здесь — нашел его пустым. В Париже вы видели вселенную, наполненную круговыми вихрями из тончайшей материи, в Лондоне вы ничего этого не видите. У нас давление Луны вызывает приливы на море, у англичан море притягивается к Луне... Кроме того, вы можете заметить, что Солнце, которое во Франции в это дело не вмешивается, здесь вносит в него свою четвертую часть. У ваших картезианцев все происходит благодаря давлению, которое, правда, само непонятно. У месье Ньютона все происходит благодаря притяжению, причина которого известна ничуть не лучше. В Париже Земле придают форму дыни, в Лондоне она сплюснута у полюсов» [1].

Несмотря на этот легкий фельетонный стиль, Вольтер дал прекрасное изложение теории Ньютона в сравнении с теорией Декарта. В 1733 г. он в специальном сочинении «Элементы философии Ньютона» сообщил своим соотечественникам о ньютоновой теории света и законе всемирного тяготения. Теперь французы стали более восприимчивыми к новому учению. После того, как в изданиях Парижской академии в течение долгого времени поочередно находили отражение обе концепции, с 1740 г. статьи, опиравшиеся на вихревую теорию, исчезли окончательно. Ведь на основании ее ничего нельзя было вывести, тогда как законы Ньютона путем математического вычисления давали точные результаты. [Теперь был открыт основной закон, по которому все материальные частички, а следовательно, и все тела во вселенной воздействовали друг на друга.] Это выдвинуло грандиозную задачу: вычислить движения всех небесных тел и проверить их наблюдениями. Такова была программа дальнейшего развития науки XVIII в., сложившаяся в основном под влиянием теории всемирного тяготения.

Появились и продолжатели труда Ньютона. Однако не в Англии, где были завоеваны свобода и самоуправление и расцвело самодовольство (при отсутствии высоких надежд все силы направлялись здесь на практику), а на материке, и именно во Франции, где теперь умы так жадно стремились к общественному обновлению.

В области практической астрономии, так же как и во всякой практической отрасли, Англия оставалась впереди. Однако на материке традиция рационалистического мышления под влиянием этого нового импульса превратилась в цветущую теорию математического исследования явлений природы. Здесь появился ряд блестящих математиков: Якоб и Даниил Бернулли, Леонард Эйлер (в Базеле), Клеро и д'Аламбер во Франции, а также многие другие, чьи работы были продолжены и завершены Лагранжем и Лапласом. Вместо применявшегося Ньютоном наглядного, но сложного геометрического метода доказательства они развили алгебраический метод, в котором сложное геометрическое представление было заменено простым вычислением, и таким образом, оказалось возможным решение самых трудных задач. Ньютон в своей теории флюксий заложил основу метода исследования изменений всех величин, рассматривая их в предельном случае бесконечно

малых вариаций. Та же самая идея одновременно была развита Лейбницем в несколько иной формулировке, в виде дифференциального и интегрального исчисления. В этом виде оно и стало основой математического аппарата в следующие столетия.

Математики континента занимались не только астрономическими вопросами. Ньютон уже сформулировал новые принципы механики (которыми мы пользуемся и до сих пор). На основании своей теории движения он установил общие соотношения между силами, расстояниями, скоростями, ускорениями и массами. Задача его последователей заключалась в применении всего этого к различным явлениям движения в природе. Так были установлены и разработаны общие принципы механики, которая превратилась в современную науку. Однако и астрономии также уделялось большое внимание, прежде всего потому, что она выдвигала сложные вопросы, которые возбуждали интерес ученых; кроме того, при помощи астрономических наблюдений можно было проверить правильность результатов, полученных на основании теоретических расчетов. Когда некоторые тела в пространстве притягивают друг друга, из их относительных положений можно вычислить, с какой силой они действуют друг на друга, следовательно, также найти их ускорения. Затем из этих ускорений можно при помощи суммирования, т. е. интегрирования, получить скорости, а из них — повторным интегрированием — изменения положений. Однако найденные таким образом положения сами были необходимыми элементами для вычисления начальных ускорений. Это сделало определение орбит небесных тел особо сложной проблемой, которую можно было решить только при помощи системы дифференциальных уравнений.

Для двух тел решение было простым, его дал уже Ньютон. Для трех и более тел не удавалось найти решения. Математики XVIII в., впервые столкнувшиеся с этой задачей, считали «задачу трех тел» неразрешимой прямым путем. Это положение сохраняется и сегодня. Разочарование математиков звучит в жалобе наиболее одаренного из них, Алексиса Клода Клеро (1713—1765): «...Пусть теперь интегрирует, кто может... Я сначала вывел данные здесь уравнения, но не прилагал много усилий к их решению, так как они кажутся мне весьма плохо поддающимися обработке. Может быть, другим они покажутся более многообещающими. Я их дал и предложил использовать метод приближений» [2]. Гениальный Леонард Эйлер (1707—1783) в своем предисловии к последней части обширной работы о теории Луны писал: «За последние 40 лет я часто пытался вывести теорию движения Луны из принципов тяготения, но сталкивался со столь многочисленными трудностями, что мне приходилось прерывать свою работу и дальнейшие исследования. Проблема сводится к трем дифференциальным уравнениям второго порядка, которые не только не интегрируются, но и при использовании метода приближений, которым нам придется удовлетвориться, приводят к величайшим трудностям, так что я не вижу, как из одной только теории можно заключить — годится ли она для чего-нибудь полезного...» [3].

То, что пионеры в области «небесной механики» принимали за печальную необходимость, оказалось единственным, правда, сложным и трудоемким, но все же наиболее общим методом решения подобных задач. Сначала силы и ускорения вычислялись для случая известной невозмущенной орбиты. Интегрированием отсюда выводили отклонения в положении для первого момента. Благодаря этим отклонениям в положении притягиваемой планеты силы и ускорения изменяются на малую величину (малую относительно первого значения), и это приводит к новым, еще меньшим отклонениям, так называемым отклонениям «второго порядка». Прибегая таким образом к дальнейшим приближениям, все ближе подходили к окончательному результату. Так как в первый момент возмущающие силы изменяются весьма неправильно по величине и направлению с изменением относительного положения планет, эти силы представляли в виде ряда периодических членов («возмущающих членов»), зависящих равным образом от долготы, аномалии, узлов и широт обоих тел, как возмущенного, так и возмущающего. Члены более высокого порядка влияют друг на друга, поэтому полное вычисление их всех является почти безнадежной и невыполнимой задачей, для решения которой в то время понадобились бы многие годы работы; даже позднее, при более благоприятных возможностях, она отняла бы целую человеческую жизнь, полную напряженного тщательного труда. Все же это не было спокойным, бесстрастным вычислением по таким формулам, которые сегодня даются в учебниках. Это был рвущийся вперед поиск в неведомой стране теории, прорыв сквозь чащу, полный приключений и чаще всего связанный с практическими проблемами. При этом всегда изучался вопрос: можно ли вычислить по закону Ньютона все фактические движения? Является ли этот закон точным и универсальным, объясняющим все наблюдаемые явления? Эти вопросы вносили своеобразный накал в работу выдающихся математиков XVIII в.

Первую практическую задачу выдвинули движения Юпитера и Сатурна. Кеплер уже в 1625 г. заметил, что они не соответствовали теории. Галлей в своих таблицах в 1695 г. обнаружил регулярное ускорение Юпитера и замедление Сатурна на такую величину, что эти планеты должны были за 1000 лет сместиться на 0°57′ и 2°19′ соответственно. Со временем орбита Юпитера уменьшалась, а орбита Сатурна становилась больше, что могло

привести к важным следствиям для устойчивости солнечной системы. Какова причина этого явления? Могло ли оно быть результатом взаимного притяжения, как подозревал Галлей, и можно ли вычислить его по закону Ньютона? Парижская академия за решение этих вопросов назначала премии в 1748 и в 1752 гг.

Хотя работе Эйлера, пытавшегося ответить на первый вопрос, и была присуждена премия за новые сложные теоретические выводы, она не решила поставленную задачу. Столь же мало достигло цели и другое (также премированное) его сочинение (попытка ответить на второй вопрос), содержавшее общий вывод о возможности существования так называемых «вековых», т. е. действующих постоянно в одном направлении возмущений.

Лагранж в 1763 г. опубликовал совершенно новый метод решения задачи трех тел, который он и применил к взаимодействию Юпитера и Сатурна. Правда, Лагранж нашел вековые члены у разложенных в ряд возмущающих сил обеих планет, но их оказалось недостаточно для объяснения наблюдавшихся возмущений. Тогда Пьер Симон Лаплас (1749—1827) тщательно вычислил в среднем движении обеих планет все малые члены высшего порядка, которыми раньше пренебрегали, и нашел, что все они взаимно компенсируются. Сумма вычисленных ускорений и замедлений оказалась равной нулю. Затем Лагранж обобщил этот результат, доказав в 1776 г. обычным способом, что взаимное притяжение планет не может привести к каким-либо вековым прогрессирующим изменениям в средних расстояниях планет от Солнца и в периодах их обращения. Расстояния и периоды испытывают лишь периодические изменения.

Но как же тогда быть с наблюдаемыми неравенствами Юпитера и Сатурна? Несколько лет спустя Лаплас в замешательстве писал: «Рассмотрев постоянство средних движений планет, я заподозрил, что изменения, наблюдавшиеся в движениях Юпитера и Сатурна, вызваны действием комет» [4]. В 1773 г. Ламберт заметил, что дело обстояло иначе, чем думали до тех пор. Сравнение наблюдений Гевелия с аналогичными наблюдениями XVIII в. выявило нечто противоположное тому, что было найдено раньше, а именно замедление Юпитера и ускорение Сатурна. Таким образом, это различие оказалось похожим на периодическое колебание Земли. Но тщательное вычисление Лагранжа, учитывавшего все члены до второго порядка малости в эксцентриситетах, не обнаружило никаких членов требуемой величины. Наконец, в мемуаре, представленном Академии в 1784 г., Лапласу удалось решить эту задачу. Он открыл, что при пропорциональности движений возникают большие долгопериодические возмущения. Пять обращений Юпитера и два обращения Сатурна примерно равны друг другу, так что через 59 лет (3 соединения) обе планеты снова встречаются вблизи одного и того же места на эклиптике. Несколько незначительных членов третьего порядка, отбрасывавшихся из-за того, что они содержали третью степень эксцентриситета, повторялись через каждые 59 лет. Таким образом, эффект эксцентриситета накапливался, приводя к заметным изменениям в долготе планет. Это происходило только до тех пор, пока соединение планет постепенно не смещалось в другое положение, и наконец через 450 лет эффект изменялся в противоположную сторону.

Таким образом, в действительности возмущение оказалось долгопериодическим колебанием с периодом около 900 лет, доходившим у Сатурна самое большее до 49′, а у Юпитера — до 21′. Выяснилось, что все прежние и последующие наблюдения обеих планет полностью совпадают с данными теории. Важность этого результата была через несколько лет выражена Лапласом следующими словами: «Неравенства обеих планет, которые раньше казались необъяснимыми при помощи закона всемирного тяготения, теперь составляют одно из наиболее удивительных доказательств в его пользу. Такова судьба этого блестящего открытия [Ньютона], которое любое возникающее затруднение превращает в повод для нового триумфа,— обстоятельство, являющееся вернейшим доказательством истинной системы природы» [5]. Позднее Роберт Грант в своей «Истории физической астрономии» писал: «Этим капитальным открытием Лаплас изгнал эмпиризм из таблиц Юпитера и Сатурна и спас ньютонову теорию от серьезнейшей опасности» [6].

Другим знаменитым объектом вычисления явилась комета, которая по Галлею должна была вернуться в 1758 г. Теперь после Ньютона стало понятно, что притяжения планет должны внести дополнительные возмущения в ее движение, т. е. что она может появиться раньше или позже, чем было предсказано. С 1531 по 1607 г. прошло 76 лет, с 1607 по 1682 г.— несколько меньше, 75 лет. Таким образом, комета могла появиться и в 1757 г. Когда приблизился предсказанный момент появления кометы, Клеро принялся за работу. Он не пользовался обычным методом вычисления планетных возмущений для всей орбиты в целом, со всей суммой членов. От точки к точке ему пришлось проследить весь путь кометы за 76 лет, а также два предыдущих и одно последующее обращение. Обеспокоенный тем, чтобы комета не появилась раньше окончания вычислений, он день за днем, едва отрывая время для еды, продолжал работу вместе со своей помощницей мадам Лепот, одаренным математиком, женой известного французского часовщика. «Работа, за которую я принялся, была огромна, и я не смог бы сказать чего-либо определенного о результате до осени 1758 г.» [7]. К счастью, комета не застала его врасплох, и он мог теперь сообщить Академии о том, что из-за притяжения Юпитера и Сатурна

комета затратила на последнее обращение на 618 дней больше, чем на предыдущее, и ее прохождения через перигелий следует ожидать только в апреле 1759 г. «Я попытался здесь показать,— говорил Клеро в своем сообщении Парижской академии в ноябре 1758 г.,— что это замедление далеко от того, чтобы повредить теории всемирного тяготения, а необходимо вытекает из нее, и что можно идти еще дальше, потому что я одновременно указал и его пределы»[8]. В конце 1758 г. комета впервые была открыта любителем астрономии Паличем из Дрездена (Саксония). В марте 1759 г. она достигла перигелия и наблюдалась до июня. Это предсказание и предвычисление возвращения кометы Галлея стало общеизвестным и справедливо рассматривается как триумф теории тяготения Ньютона.

Появление этой кометы было лишь эпизодом. Движение же Луны по-прежнему оставалось большой и сложной проблемой, которая ставилась во многих исследованиях и побуждала к изобретению новых методов. Важнейшие неравенства («возмущения») в движении Луны возникали (как писал уже Ньютон) из-за притяжения Солнца. Солнце оказывало на Луну возмущающее влияние с силой, величину которой можно было легко вычислить. Она составляет в полнолуниях и новолуниях $^1/_{89}$ той силы, с которой Земля притягивает Луну. Так как из-за близости Луны мы отчетливо можем заметить малейшие по величине смещения, вычисления приходится вести с учетом очень малых членов, которые благодаря взаимному влиянию и зависимости друг от друга порождают большую путаницу. Сложность этой проблемы отчетливо проявилась в первой работе Клеро в 1746 г., когда при вычислении вращения большой оси лунной орбиты он вместо 40° в год нашел только 20°, т. е. половину той величины, которая была известна из наблюдений. Тогда он впервые подумал о том, что закон Ньютона, может быть, не вполне верен и для столь малых расстояний, как расстояние от Земли до Луны, может несколько измениться[9]. Однако дальнейшее вычисление показало ему (это подтвердили также Эйлер и д'Аламбер), что первоначально отброшенные члены высшего порядка малости оказывают определенное влияние и что при учете их все можно привести в порядок. Все-таки пока еще не было и речи о возможности получить сколько-нибудь точные результаты из теоретического вычисления вращения большой оси. Правда, это был самый трудный из всех вопросов, связанных с возмущениями Луны. В 1754 г. Клеро и д'Аламбер опубликовали независимо друг от друга основанные только на теории лунные таблицы, которые, хотя впервые и превзошли все прежние, не давали точного движения Луны. В 1745—1746 гг. Эйлер вычислил возмущения Луны и дал соответствующие таблицы. В 1755 г. он предложил улучшенную теорию, а в 1772 г. в третий раз вернулся к этому вопросу, дополнительно разработав дальнейшие детали теории. Однако таблицы все еще плохо совпадали с наблюдениями.

Причина этого заключалась в том, что теория не могла определить точное количество возмущений, хотя ей удалось показать, какие возмущения должны проявляться и с каким периодом, а также и то, как они зависят от Солнца, узлов и афелиев. Для каждого периода большое количество членов высшего порядка, образующих бесконечные ряды, способствовало тому, что их полная сумма оставалась неопределенной. Все же практические потребности мореплавания требовали того, чтобы лунные таблицы были заранее точно вычислены, а теория всемирного тяготения должна была этому помочь.

Тогда-то Тобиас Майер (1723—1762) и ввел удачный прием, объединив теорию с практикой. Он уже прославился измерением положений большого числа лунных гор при помощи несовершенных инструментов и из этих измерений нашел различные либрации Луны. После этого он был приглашен в Геттинген (Ганновер), находившийся под управлением короля Англии и поэтому более свободный от «духовной нищеты», свойственной другим карликовым государствам Германии. Там он получил в свое распоряжение обсерваторию, где вел наблюдения звезд и Луны. В 1755 г. Майер издал свои таблицы Солнца и Луны, в которых главнейшие неравенства Луны были заимствованы из теории Эйлера, но величина каждого члена ряда, т. е. амплитуда каждого отклонения, бралась из наблюдений так, чтобы представить их насколько можно лучше. Ограничившись в своих формулах четырнадцатью членами, Майер добился того, что ошибки в некоторых случаях доходили всего до $1^1/_2{}'$. Эта точность имела важное значение тогда, когда Луна использовалась в качестве небесных часов для отсчета гринвичского времени. Так как Луна завершала свой оборот в 27 раз медленнее небесной сферы, ошибка в определении ее положения на 1′ давала на море ошибку в долготе на 27′, т. е. самое большее в 27 морских миль. После смерти Майера его новые таблицы по поручению Британского Адмиралтейства были еще раз исследованы Брадлеем, который, сравнив их с гринвичскими наблюдениями, понизил ошибки до 1′. Важным вспомогательным средством для нахождения долготы на море стали изданные Адмиралтейством в 1770 г. таблицы (к ним сам Майер добавил методы и инструкции), за которые английское правительство выплатило вдове Майера премию в 3000 фунтов стерлингов.

Таким образом, для практического мореплавания этот вопрос был разрешен, однако теория стояла еще перед сложной и загадочной проблемой. Уже в 1693 г. Галлей заметил, что при сравнении наблюдений затмений по античным и арабским источникам с современными период обращения Луны, а следовательно, также

и ее орбита оказались уменьшающимися. Это «вековое ускорение» Луны было подтверждено Тобиасом Майером. Он первый нашел, что величина этого ускорения составляет 6″,7 в столетие; позднее, в Лондонских таблицах он использовал значение 9″ (Лаплас нашел, что оно равно 10″). Это означало, что через 100 лет Луна опережала бы на 10″, через 200 лет — на 40″, а через 300 лет — на 90″ положение, предвычисленное при отсутствии этого члена ряда, и что, таким образом, с каждым следующим столетием она проходила бы дугу на 20″ бóльшую (которая составляет $100 \times 13^1/_3 \times \times 360°$).

А что если при непрерывном и беспрепятственном уменьшении лунной орбиты Луна наконец упадет на Землю? В 1770 г. Парижская академия предложила премию за исследование о том, может ли теория гравитации объяснить такое явление. Эйлер не смог найти объяснения. В своем конкурсном сочинении он писал: «Кажется твердо установленным с несомненной очевидностью, что вековые неравенства лунного движения не могут вызываться силами тяготения» [10]. В 1772 г. он попытался объяснить это сопротивлением материальной среды, заполняющей мировое пространство. Такое сопротивление действительно объясняло ускорение, но тогда в конце концов должна была наступить катастрофа. После многочисленных и бесплодных попыток Лагранжа и Лапласа последний наконец в 1787 г. нашел объяснение, исходящее из гравитационного воздействия; он предположил, что эксцентриситет земной орбиты медленно уменьшается и что такое положение сохраняется в течение нескольких десятков тысяч лет. Тогда земная орбита должна была стать более близкой к кругу и, следовательно, среднее расстояние от Земли до Солнца должно возрасти. Возмущающее влияние Солнца, которое немного отталкивает Луну от Земли, становится при этом меньше. Лаплас получил в результате теоретического расчета практически то же самое значение ускорения 10″ в столетие, которое давали прежние наблюдения затмений. Таким образом, волнение снова улеглось, и сильнее, чем когда-либо ранее, утвердилось убеждение в том, что теория Ньютона способна объяснить все движения в солнечной системе.

Полный теоретический расчет движения Луны и планет при помощи математических выводов был проделан Лапласом. Все эти исследования он собрал в одном обширном труде «Traité de mécanique céleste» («Трактат по небесной механике»), который был издан в пяти томах в 1799—1825 гг. В этой работе, первая часть которой появилась в 1799 г., Лаплас рассматривает все движения в солнечной системе как чисто механическую задачу. В общем виде эта проблема сформулирована так: любое тело состоит из малых элементов массы, которые притягивают друг друга по закону Ньютона. Из суммы таких сил каждой частички складывается

сила целого тела, которое, не будучи совершенно шарообразным, немного отклоняет исходящую из его центра силу. Эта общая формулировка сделала Лапласа защитником механического учения о мире, столь часто критиковавшегося в следующем веке. Это учение предполагало, что если однажды были заданы начальные состояния всех частичек, то все дальнейшие движения в мире будут полностью определены при помощи строго математического вычисления. Конечно, тогда еще не было и речи об атомах и молекулах позднейшей физики. Лаплас пользовался отдельными очень маленькими элементами массы как математической абстракцией.

Солнечная система мыслилась как гигантский механизм, приводимый в движение и подталкиваемый только силой всемирного тяготения. Это был до конца познаваемый и поддающийся вычислению часовой механизм, который навечно сохранял свое движение. Такая картина полностью совпадает с образом мышления XVIII в., когда всю природу пытались представить себе как искусственный и совершенный механизм.

Для планет Лаплас смог сам подсчитать медленные, постоянно нарастающие изменения в форме и положении орбит, т. е. вековые возмущения, на сотни тысяч лет вперед и назад. Для Луны ему снова удалось представить движение с точностью меньше 0′,5. Члены, выражающие в его теории изменения долгот апогея и узла, оказались зависящими от сплюснутости Земли. Обратно, можно было из эмпирически найденной величины этих членов вывести сплюснутость Земли. Лаплас нашел, что она равна $^1/_{305}$, что близко к действительному значению и явилось приятным подтверждением результата экспедиции в Перу. Другой член в движении Луны, примерно равный 2′, зависел от отношения расстояний Солнца и Луны от Земли и вызывал «параллактическое неравенство», связанное непосредственно с солнечным параллаксом. На этой основе Лаплас вывел параллакс Солнца в 8″,6. «Замечательно,— говорил он по этому поводу,— что астроном, не покидая своей обсерватории, а лишь сравнив наблюдения Луны с данными математического анализа, может вывести точную величину и форму Земли и расстояние ее от Солнца и Луны, для чего раньше были необходимы трудные и продолжительные путешествия» [11].

Это высказывание Лапласа взято из его «Exposition du système du monde» («Изложение системы мира»), где в популярной, не математической форме были изложены результаты всех теоретических исследований. Вековые возмущения больших осей планетных орбит (до первой степени масс) равны нулю. Поэтому, кроме того, и возмущения в наклонах и эксцентриситетах планетных орбит должны оставаться внутри хорошо определенных пределов. Вследствие этого все планеты вращаются в одну и ту же сторону.

Внутреннее строение такой планетной системы остается навечно неизменным.

Однако гипотеза Лапласа ненадолго сохранила подобный вид. Уже в 1755 г. тогда еще юный Иммануил Кант выдвинул идею о том, что вещество солнечной системы первоначально находилось в состоянии весьма разреженной туманной массы, которая под собственным механическим воздействием превратилась в плоский вращающийся диск; при сжатии диска образовалось Солнце и планеты. Ньютон считал, что существующая вселенная возникла чисто механическим путем, без вмешательства высшего разума, что было бы несовместимо с его системой мира. Прогресс рационализма в XVIII в. проявился в том, что человек теперь отважился взяться за решение проблем естествознания. Небулярная гипотеза Канта, дававшая рациональное объяснение того факта, что планетные орбиты расположены почти в одной плоскости, а все планеты движутся по своим орбитам в одном направлении, явилась первой космогонической гипотезой, имевшей научную основу. Ничего не зная о работе Канта, Лаплас в своем «Изложении...» предложил для обсуждения такую же гипотезу о том, что солнечная система возникла в результате эволюции из совершенно иного первоначального состояния. Теперь было достигнуто конечное состояние, которое не могло больше нарушаться. Космогоническая теория мира соответствовала человеческому миру, который также, после длительного развития от первоначального варварства и невежества, достиг теперь,— или почти достиг, как тогда считали, своего конечного состояния под властью свободы, разума и науки.

Таким образом, можно с гордостью оглянуться на значительное развитие астрономии в течение XVIII в. С невиданной ранее точностью стали наблюдаться движения небесных тел, и наука смогла их предвычислить и предсказать на основе открытого теперь великого закона вселенной. Правда, этой вселенной была лишь солнечная система, но человек начал уже заглядывать и за ее пределы.

ЧАСТЬ III

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

ГЛАВА 31

МИР РАСШИРЯЕТСЯ

Неподвижные звезды тогда еще не вызывали большого интереса. Они рассматривались лишь как фон для движения планет, как неподвижные точки, относительно которых определялись изменяющиеся положения Луны и планет. Правда, было известно несколько случайных подробностей и о самих звездах. Было установлено собственное движение некоторых звезд, т. е. небольшое изменение их положения на небе. Замечены были также и звезды, регулярно изменявшие свой блеск. Это не вызывало удивления, потому что были уже пережиты значительно более сенсационные появления новых звезд Тихо и Кеплера. В 1596 г. Давид Фабрициус заметил в созвездии Кита звезду третьей величины, которая появилась и через короткий промежуток времени исчезла, так что он принял ее за новую звезду. Однако в 1638 г. ее снова увидел Холварда во Франекере (Голландия). Он наблюдал ее исчезновение, но в следующем году она опять появилась. Она появлялась через каждые 11 месяцев, достигая наибольшего блеска, но очень неравномерно, доходя то до четвертой величины, то до второй, а однажды (в 1779 г.) даже засияла как звезда первой величины. Эту звезду наблюдал и Тихо. Байер обозначил ее греческой буквой о. Теперь она называется Mira Ceti, т. е. «дивная Кита». Ассириолог Шаумбергер считал вероятным, что она была замечена уже в Вавилоне. Некоторые клинописные тексты говорят о созвездии Дилган (т. е. Ките и Овне) в выражениях, означающих «просветлилось» или «вспыхнуло» и «угасло» [1].

В XVII и XVIII вв. было сделано несколько новых открытий. В 1672 г. Монтанари из Болоньи, который еще в 1667 г. обнаружил переменность Алголя, нашел одну звезду, расположенную на южном небе, в созвездии Гидры, которая изменяла свой блеск от четвертой величины до невидимости. В 1686 г. Кирх из Берлина открыл аналогичное изменение блеска у звездочки пятой величины в шее Лебедя (χ Лебедя). Это показывает, что были наблюдатели, обращавшие внимание и на звезды, но проявляющийся к ним интерес не был достаточно велик для того, чтобы привести к длительным систематическим наблюдениям.

К миру звезд принадлежали и туманные объекты, «туманности», наиболее яркие из которых были замечены в XVII в.

О вытянутой туманности Андромеды, легко заметной для невооруженного глаза, впервые упомянул Симон Мариус в 1612 г., а туманность Ориона, окружающая звезду четвертой величины θ в «мече Ориона», была открыта в 1619 г. Цизатом из Ингольштадта и в 1694 г. занесена Гюйгенсом в его дневник. Телескопы обнаружили множество значительно более слабых туманностей. Для того, чтобы не спутать эти маленькие туманности с очень похожими на них кометами, французский астроном Мессье, прославившийся открытиями комет, составил список, содержавший примерно сто таких объектов. В 1771 г. он был опубликован для того, чтобы наблюдатели не разочаровывались каждый раз при открытии мнимых комет. Это все, что удалось узнать о звездном мире. Расстояния звезд также не были известны, так как никому еще не удалось определить годичный параллакс звезды.



Рис. 46. Вильям Гершель.

Вильям Гершель (1738—1822), выходец из немецкой семьи музыкантов (настоящее имя его было Вильгельм Фридрих), приехал из Ганновера в город Бат (Англия), где стал известным учителем музыки и композитором. Еще в Германии он проявлял глубокий интерес к проблемам естествознания и философии, который привел его около 1773 г. к сильному увлечению астрономией. В том же году он купил линзы для телескопа и взял напрокат 2-футовый отражательный телескоп. Но эти инструменты не удовлетворяли его. Тогда он начал изготовлять телескоп самостоятельно, отлив и отшлифовав для него вогнутое зеркало.

В дневнике Гершеля мы находим запись, относящуюся к сентябрю 1774 г.: «Посещаю 6, 7 или 8 учеников каждый день. Ночью проводил астрономические наблюдения с телескопом собственной конструкции». То же самое 1 мая 1776 г.: «Наблюдал Сатурн новым 7-футовым рефлектором», и 13 июля 1776 г.: «Видел Сатурн в 20-футовый рефлектор, который я установил в своем саду». Экспериментируя над лучшим металлическим сплавом (медь с одной третью олова), Гершель с величайшей тщательностью придавал зеркалам правильную форму и шлифовал их поверхность.

Он получал зеркала отличного качества, дававшие совершенно круглые изображения звезд. Как было установлено позднее при непосредственном сравнении, инструменты Гершеля намного превосходили телескопы Гринвичской обсерватории. Улучшая качество телескопов, Гершель к тому же увеличивал их размеры; следовательно, возрастали светосила, разрешающая сила и увеличение. Последнее благодаря сильным окулярам удалось довести от 200—400-кратного до неизвестного ранее 2000-, 3168- и 6450-кратного. При помощи своего брата, а также сестры Каролины (наиболее преданной помощницы сначала в музыке, а затем в астрономической работе) Гершель сделал 7-футовый, 10-футовый и 20-футовый телескопы (два последних — с зеркалами, диаметром в 12 и 19 дюймов, т. е. 30 и 47 *см*) и принялся за интенсивные наблюдения. Это был новый прогресс в астрономической технике, явившийся результатом неустанной тренировки и страстного стремления к максимальному усовершенствованию средств наблюдения. Таким образом Гершель стал уже известен в астрономическом мире благодаря его наблюдениям вращения Марса и Юпитера и микрометрическим измерениям высоты лунных гор, которые он выполнил в 1777—1781 гг.

Прежде всего Гершель хотел найти параллаксы звезд. В статье, представленной Королевскому обществу, он изложил свои соображения. Так как прямые измерения положений звезд содержали большие ошибки, он предложил несколько раз определять положение яркой звезды относительно расположенной рядом с ней слабой звезды. Если расстояние составляло несколько секунд, относительное положение и смещение можно было оценить и выразить в диаметрах звездных дисков. Таким образом, Гершель начал внимательно изучать все более яркие звезды при помощи 7-футового телескопа, для того чтобы убедиться, нет ли рядом с ними слабых компонентов. В 1781 г. Гершель писал: «Во вторник 13 марта между 10 и 11 вечера, когда я изучал слабые звезды в соседстве с Н [т. е. η] Близнецов, я заметил одну, которая выглядела бо́льшей, чем остальные. Удивленный ее необычным размером, я сравнил ее с Н Близнецов и небольшой звездой в квадрате между созвездиями Возничего и Близнецов и обнаружил, что она значительно больше любой из них. Я заподозрил, что это — комета» [2].

При бо́льшем увеличении он увидел диск, возраставший с ростом увеличения. Этого не происходило с изображениями звезд. В течение нескольких следующих дней было замечено небольшое смещение объекта вдоль эклиптики в прямом направлении (примерно на 1′ в сутки). Объект не имел хвоста и обнаруживал отчетливый диск, величина которого в течение следующих недель возрастала, поэтому Гершель считал, что объект приближался к Земле.

Об открытии новой необычной кометы он сообщил Маскелайну и другим астрономам. Ее сразу же стали наблюдать во Франции; через несколько месяцев была вычислена орбита «кометы», которая оказалась примерно круговой и в 19 раз больше, чем у Земли. Следовательно, это была планета, располагавшаяся за Сатурном, которая увеличила известное с древности число планет и вдвое расширила размеры планетной системы. Слава об этом открытии способствовала тому, что английский король произвел Гершеля в должность придворного астронома (правда, с незначительным вознаграждением в 200 фунтов, так что впоследствии ему приходилось подрабатывать неустанной шлифовкой зеркал и продажей телескопов). Теперь Гершель совершенно отказался от профессии музыканта, дававшей гарантированный доход, и целиком посвятил себя астрономии. Следует отметить, что из 70 телескопов, которые были проданы до 1795 г., только один, как стало известно, использовался для астрономической работы. Это был 7-футовый телескоп, купил его судья Шретер из Лилиенталя. В честь короля Гершель дал новой планете название Georgium Sidus («звезда Георга»). Однако в других странах вошло в употребление иное название — Уран, которое за ним и утвердилось.

В Слоу, близ Виндзора (где он теперь жил), Гершель, получив финансовую поддержку короля, отшлифовал зеркала для еще большего, 40-футового телескопа с зеркалом, имевшим в диаметре 58 дюймов. В 1789 г. постройка телескопа была закончена, и Гершель с энтузиазмом описывал, как он в течение многих часов наблюдал Сатурн лучше, чем раньше. В 1795 г. он дал детальное описание гигантской конструкции из тяжелых труб, установленных на каменном основании и деревянных балках, на которых висела большая труба, приводившаяся в движение системой прочных канатов и блоков. Это было удивительное и прославленное чудо науки, изображение которого приводилось в различных книгах, журналах и даже выбивалось на медалях. Однако Гершель редко использовал его для наблюдений. Оказалось, что работа на этом неуклюжем гиганте была очень сложной, а зеркало не давало хороших изображений, потому что прогибалось под влиянием собственной тяжести. Вся самая важная работа выполнялась на 20-футовом телескопе с отверстием в 19 дюймов (рис. 47). На нем проводились также разнообразные наблюдения тел солнечной системы, солнечных пятен, полярных шапок Марса, двух спутников Урана и двух вновь открытых спутников Сатурна, но все же главным объектом и целью его исследования был мир звезд.

Сначала он закончил исследование двойных звезд и опубликовал свои результаты в виде двух каталогов: один из них, содержавший 269 объектов,— в 1782 г., другой — из 434 объектов — в 1784 г. Положение слабой звезды в каждом из этих каталогов да-

валось относительно яркой компоненты. Углы положения и бóльшие расстояния измерялись при помощи нитяного микрометра, а малые расстояния порядка нескольких секунд оценивались размерами звездных дисков. Конечно, такие оценки были не очень точны из-за несовершенства нитяного микрометра. Действительно, Гершель писал: «Одна шелковая нить такими линзами, которыми

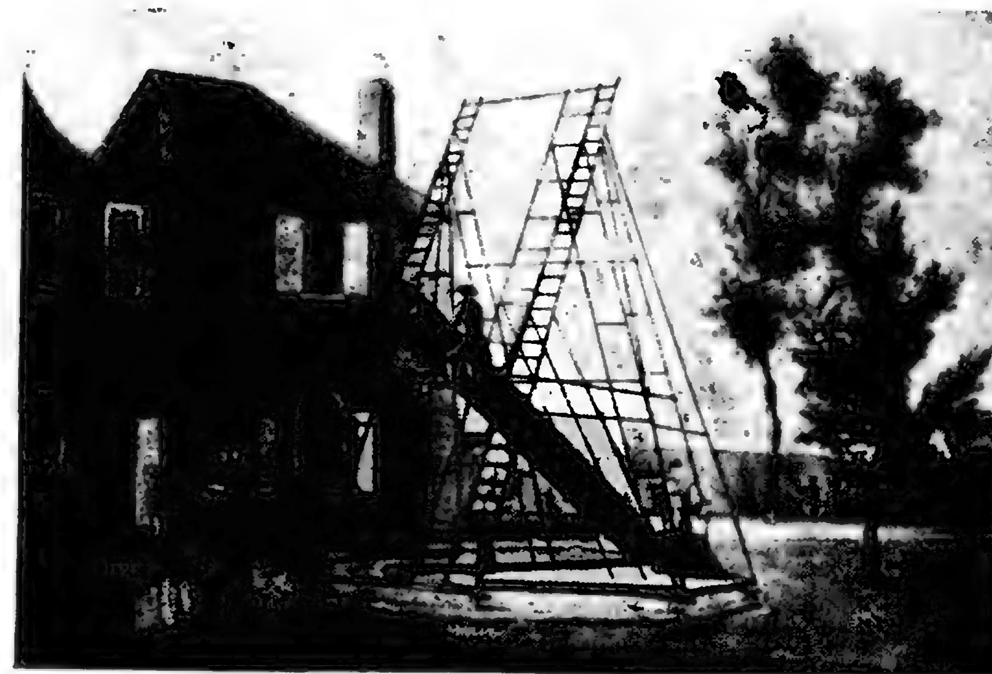


Рис. 47. 20-футовый телескоп Гершеля.

я пользовался, увеличивалась настолько, что ее диаметр оказывался больше диаметра многих звезд» [3]. Он подчеркивал дальше: «Как трудно получить винты, нарезка которых была бы совершенно одинакова на каждом шаге или обороты которых были бы равны» [4]. Гершель сконструировал свой «ламповый микрометр». Две искусственные звезды, получавшиеся от лампы, светившей через проколотые булавкой отверстия, с расстояния около 10 футов, рассматривались левым глазом, в то время как правый глаз видел звезды в телескоп. Их можно было поставить в любое положение друг относительно друга так, чтобы они выглядели в точности как двойная звезда.

Планируя свои исследования слабых спутников ярких звезд, Гершель исходил из идеи о том, что слабые звезды выглядят слабыми из-за большей отдаленности. Он считал, что «величина» звезды является прямым указанием на ее расстояние. Таким образом, звезда четвертой величины должна была находиться на расстоянии, вчетверо большем, чем звезда первой величины. Слабый спутник мог служить для нахождения параллакса и расстояния до

яркой звезды. Однако число случаев, когда слабые звезды были видны в близком соседстве с яркими, оказалось настолько велико, что это значительно превосходило возможность их случайного распределения в пространстве. Мысль о том, что большинство из них должно было быть реальными спутниками ярких звезд с действительно небольшой яркостью, постепенно должна была прийти ему в голову. Впрочем, нечто подобное заметил и Христиан Майер из Мангейма, который в 1777 г. сообщил в печати, что он видел планеты, принадлежащие ярким звездам. Реальные планеты, освещавшиеся своим Солнцем, были бы очень слабыми для того, чтобы их можно было заметить. Многие из двойных звезд Гершеля, кроме того, оказались почти одинаковыми, что еще меньше могло быть следствием их случайного распределения в пространстве. Конечно, они не годились для определения параллаксов. Разумеется, он должен был вскоре прийти к выводу, что эти звезды представляют собой реальные двойные системы, потому что в конце своей первой статьи он добавил: «Гораздо скорее можно построить любую теорию о маленьких звездах, обращающихся вокруг больших» [5].

Через 20 лет он вернулся к задаче нового измерения относительных положений компонентов многих из своих двойных звезд. В двух статьях (1803 и 1804 гг.), он писал, что примерно для 50-ти из них позиционный угол изменился на величину, заключавшуюся между 5° и 51°. В результате тщательного обсуждения Гершель пришел к выводу, что это изменение не могло быть вызвано движением Солнца или собственным движением главной звезды. Единственным приемлемым объяснением было орбитальное движение малой звезды вокруг большой, или обеих вокруг их общего центра тяжести. Исследование Гершеля доказало (если такое доказательство было необходимо), что ньютонов закон всемирного тяготения действует также и в мире звезд, на далеких просторах вселенной. Было доказано существование других систем мира, помимо нашей, состоящей из одного Солнца и планет,— систем из двух звезд (а иногда даже из трех или четырех), обращающихся вокруг общего центра тяжести.

В начале 80-х годов его внимание привлекла также и проблема движения Солнца. В статье 1783 г. он писал, что поскольку некоторые звезды, как нам известно, движутся, а все звезды, кроме того, притягивают друг друга, то мы должны прийти к заключению, что все звезды, в том числе и наше Солнце, перемещаются в пространстве. Движение Солнца может проявиться в кажущемся противоположном смещении звезд, которое благодаря его зависимости от расстояния Гершель назвал «систематическим параллаксом». Точку неба, по направлению к которой двигалось Солнце, он назвал «апексом» и указал, что у звезд, расположенных в стороне от апекса, должен проявляться наибольший эффект. Изучив дви-

жение семи ярких звезд, для которых Маскелайн дал годичное смещение по прямому восхождению и склонению, двенадцати звезд, взятых у Лаланда, и 40 звезд, добавленных Тобиасом Майером, Гершель пришел к заключнию, что апекс должен располагаться вблизи звезды λ в созвездии Геркулеса. Он даже сделал «несколько туманных намеков» на «величину» солнечного движения. Так, он полагал, что параллакс Сириуса и Арктура должен быть меньше 1″, а видимое движение Арктура из-за перемещения солнечной системы — не меньше 2″,7 в год. «Следовательно, мы можем обычным путем установить, что солнечное движение определенно не может быть меньше того движения, которое Земля совершает по своей годичной орбите». В 1805 и 1806 гг. Гершель вернулся к этой проблеме, подтвердив свой прежний результат на взятом у Маскелайна материале из тщательных измерений собственных движений 36 ярких звезд. Его попытка определить величину солнечного движения не могла быть удачной, так как он полагал, что расстояние любой звезды соответствует ее видимому блеску. В результате он нашел большое число ярких звезд (таких, которые имели очень небольшие собственные движения), которые движутся в том же направлении, что и Солнце.

Теперь его мысли устремились к более далекой цели: провести обзор всех разнообразных объектов звездного мира, т. е. систематизировать, «инвентаризировать» вселенную. Наряду с двойными звездами встречались также тройные, четверные и более многочисленные группы, вроде Плеяд. Гершель со своим телескопом увидел, что многие объекты, которые с малыми телескопами выглядели как туманные пятна, состояли из тысяч собранных воедино звезд. Будет ли это верно также и для того множества звезд, которые в самый большой его телескоп кажутся маленькими туманными пятнышками? Систематически «выметая» («to sweep») своим телескопом одну за другой различные области неба, Гершель собрал (начиная с 1783 г.) множество достопримечательных объектов. Таким образом, он смог в 1786 г. опубликовать «Каталог тысячи туманностей и звездных скоплений» (позднее увеличенный еще на тысячу объектов) с описанием и разделением на группы по их внешним особенностям. В 1789 г. вышел второй каталог, содержавший более 1000 объектов, а в 1802 г. был добавлен третий список из 500 объектов. Этот список был составлен уже не для того, чтобы можно было отличить их от комет, а ради них самих как систем солнц или как миров в обширной вселенной.

Как велика эта вселенная? Как она устроена? Не состоит ли она из огромного числа солнечных систем, аналогичных нашей? Уже в 1750 г. Томас Райт полагал, что то, что мы наблюдаем как Млечный Путь, охватывающий все небо, является проекцией гигантской системы звезд, весьма протяженной в плоскости его

светлой полосы. Кант разделял эту точку зрения. Ламберт в 1761 г. разработал теорию, по которой тысячи звезд, окружающих Солнце, составляют единую систему. Огромное число этих звездных скоплений вместе образуют Млечный Путь, как систему еще более высокого порядка; возможно, таких систем млечных путей во вселенной очень много. Однако все это были еще лишь рассуждения и фантазии. Гершель первым провел систематические наблюдения для определения протяженности звездных систем.

В первой из двух своих статей, опубликованных в 1784 и 1785 гг., «On the construction of the heavens» («О строении неба») Гершель констатировал: «Направив телескоп на участок via lactea, я обнаружил, что весь этот беловатый по внешнему виду участок полностью разрешился на маленькие звезды»[6]. С этих пор свое изучение Млечного Пути он ограничил подсчетом звезд. Предположив, что звезды имеют одинаковую светимость и равномерно распределены в пространстве, т. е. находятся в основном на одинаковых расстояниях друг от друга, он смог по числу звезд, подсчитанных в поле зрения своего телескопа, сделать вывод о протяженности звездной системы в этом направлении, т. е. о глубине звездной вселенной. Поэтому Гершель назвал такой подсчет «зондированием неба» или «звездным зондированием». Было выполнено более 3000 таких подсчетов, результаты которых (для добрых 400 точек неба) приведены в его второй статье. Итогом этих исследований явился его хорошо известный нам диск или имеющее форму линзы звездное скопление, протянувшееся в плоскости Млечного Пути на 800 средних расстояний между двумя звездами, а в направлении, перпендикулярном к этой плоскости, на 150 таких расстояний. За среднее расстояние между двумя звездами было принято расстояние от Солнца до Сириуса или Арктура. В статье был приведен чертеж перпендикулярного сечения звездной системы, на котором также проявилось (рис. 48) и разделение Млечного Пути на две ветви (составляющие примерно половину окружности). «То, что Млечный Путь является очень вытянутым слоем звезд различных размеров,— в этом не остается ни малейшего сомнения; точно так же ясно, что и наше Солнце — одно из входящих в него небесных тел. Теперь я этот светящийся пояс рассмотрел и прозондировал почти в любом направлении и нашел, что он состоит из звед, число которых постоянно возрастает и убывает пропорционально его [пояса] яркости для невооруженного глаза»[7].

Однако в этих статьях Гершель не ограничивался только простым определением размеров и расстояний. При помощи своего телескопа он мог изучать столько различных форм звездных скоплений, что его мысли сами собой устремлялись к вопросу о том, как они возникли. Он объяснял, что под действием взаимного притяжения звезды, первоначально равномерно распределенные в пространстве, все более сжимались в правильные или неправильные связанные между собой конденсации, между которыми оставалось пустое пространство. Этот процесс Гершель называл «образованием туманности» и считал, что и те объекты, которые в его телескоп выглядели как туманности, также состоят из мельчайших, т. е. очень далеких звездочек. Протяженные туманности Гершель называл «телескопическими млечными путями». Таким образом, и наш Млечный Путь также есть не что иное, как туманность, подобная другим. «Теперь я попытаюсь показать, что огромная

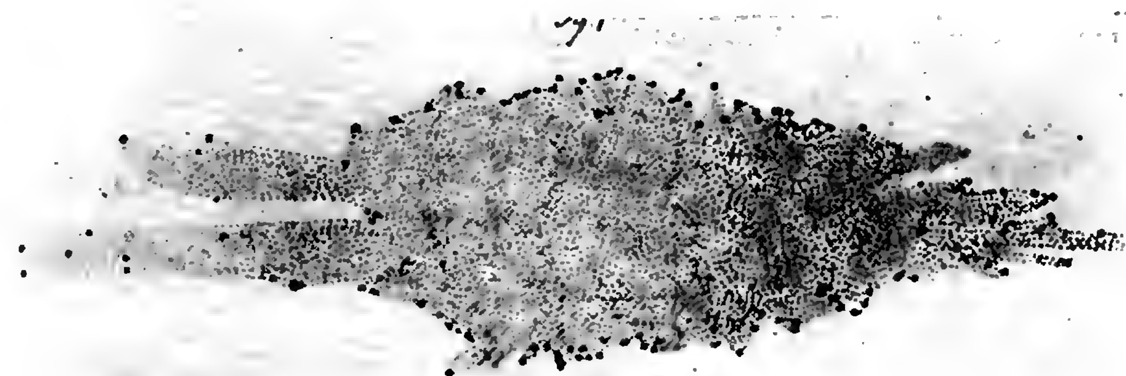


Рис. 48. Сечение Млечного Пути (по Гершелю).

звездная система, в которой мы живем, ...состоящая из многих миллионов звезд, является, по всей вероятности, обособленной туманностью». Глава его статьи 1785 г., содержащая этот тезис, начиналась следующими словами: «Мы живем на планете звезды, которая принадлежит к составной туманности третьего типа»[8].

Понятно, что рассуждения, так широко раздвинувшие пределы известного мира, у некоторых современников Гершеля вызвали восторженное восхищение, а в других пробудили скептическое недоверие — ведь никто другой не видел всего этого небесного чуда своими собственными глазами. Однако еще более враждебно были встречены его идеи об эволюции звездных систем и скоплений. Гершель с юности был воспитан в духе европейского критического рационализма во взглядах на природу, который оставался чуждым весьма консервативному образу мышления Англии того времени. [Внучка Гершеля Констанс Люббок писала в его биографии: «Гершель был первым, кто внес в Творение новый фактор своим предположением, что это был длительный процесс, а не внезапный и законченный акт. Пожалуй, одной из причин, по которым его статьи были холодно встречены Королевским обществом, является тот факт, что в Англии мысль не была так свободна, как во Франции и Германии. В это время никто не мог занять высокое положение в каком-либо из английских университетов или стать учителем, не имея священнического сана. Королевский астроном

был священником, так же как доктор Хорнсби — астроном в Оксфорде и профессор астрономии в Эдинбурге»] [9].

Идеи Гершеля об эволюции не оставались неизменными по мере того, как он продолжал наблюдения. Он был поражен видом звезд, окруженных равномерными туманными оболочками, а также совсем круглыми или удлиненными туманными пятнышками с ровным светом, которые он за их внешний вид назвал «планетарными туманностями». Они не могли быть звездными скоплениями, «так как равномерная и весьма значительная яркость их видимого диска удивительно хорошо согласуется с весьма конденсированной излучающей свет жидкостью, тогда как предположение о том, что они состоят из скученных звезд, не так полно соответствовало бы молочному, мягкому оттенку их света» [10],— писал Гершель в своей статье «О так называемых туманных звездах» (1791 г.). Он указывал на важность этого обстоятельства: «Какое новое поле действия открывается здесь для наших концепций! Светящаяся жидкость такой яркости, которая достаточна для того, чтобы дойти до нас из далеких областей звезд восьмой, девятой, десятой, одиннадцатой и двенадцатой величины, и объем настолько значительный, что мы различаем его в виде диска 3, 4, 5 или 6 минут в диаметре! Можно ли сравнивать его с мерцанием электрической жидкости северного сияния или с более заметным конусом зодиакального света, как мы видим его весной или осенью?» [11]. То же самое относилось и к большой туманности Ориона, о которой в 1802 г. Гершель писал, что в течение 23 лет он наблюдал множество изменений ее формы и свечения. Затем он добавил: «Попытки угадать, отчего мог возникнуть этот свет, были бы самонадеянными» [12]. Это заставило Гершеля изменить свои представления об эволюции: туманности, которые первоначально как далекие млечные пути стояли в конце ряда эволюционного развития, были переставлены в начало. Они представлялись теперь как первичная материя, из которой в результате конденсации образовались звезды. В 1811 г. он выразил это таким образом: «...Можно представить, что с течением времени эти туманности, которые находились уже в таком состоянии сжатия, могли бы сконденсироваться еще больше, чтобы действительно стать звездами» [13]. Несколько лет спустя Гершель писал: «Мы увидим, что здесь одинаковое влияние оказывает одна и та же сила, которая сперва конденсирует туманную материю в звезды, а затем собирает их в звездные облака. Эта сила из-за непрерывности своего действия постепенно увеличивает сжатие звезд, которые образуют облака» (1814 г.) [14].

Во всех этих исследованиях Гершель имел дело прежде всего с наиболее далеко идущими вопросами строения и развития вселенной. В то же время его внимание привлекли и другие явления из мира звезд, особенно изменения блеска некоторых звезд, изучением которых занимались два его друга, такие же любители, как и он сам. В 1782 г. Джон Гудрайк открыл правильный характер изменений блеска Алголя (β Персея), звезды второй величины, переменность которой была замечена еще Монтанари на 100 лет раньше. С периодом в 2 дня 21 час блеск звезды уменьшался до четвертой величины. Гудрайк объяснил это изменение блеска периодическим затмением Алголя темным телом, обращающимся вокруг него за 2 дня 21 час. Два года спустя Гудрайк открыл переменность δ Цефея и β Лиры, его друг Пиготт в 1785 г. установил переменность звезды η Орла и позднее — маленькой звездочки в Щите*). Гершель в эти годы также занимался изучением блеска звезд. Он заметил, что звездные величины звезд, наблюдавшихся им в каком-либо созвездии, часто сильно отличались от величин, соответствовавших тем же звездам в каталоге Флемстида, а оба ряда этих оценок в свою очередь не совпадали с последовательностью греческих букв, приписанных этим звездам Байером. Он полагал, что во многих случаях звезды (возможно, постепенно) изменяли свой блеск. Гершель понял, что для исследования таких изменений необходимо более точное сопоставление относительного блеска звезд. Гершель изобрел систему знаков, при помощи которых отмечались различные оценки блеска. Таким способом он сравнил блеск всех звезд, перечисленных Флемстидом. Результаты этого сравнения были опубликованы в 1796—1799 гг. в виде четырех каталогов. Еще два каталога (дополнительные созвездия) были опубликованы по рукописям после его смерти. Таким образом Гершель не выполнил своего намерения обнаружить переменность многих звезд; α Геркулеса оказалась единственной звездой, у которой он нашел небольшие флуктуации блеска в 1795 г. Его метод сравнения небольших различий в блеске оставался незамеченным до тех пор, пока много лет спустя на него не обратил внимания Аргеландер.

Таким образом, теперь мир звезд был окончательно включен в область настоящей астрономии. То, что Гершелю удалось сделать, было главным образом следствием того, что он пришел в науку как самоучка. Не обремененный традициями, которые при подготовке специалистов повсюду ограничивали сферу их обязанностей и поле допускаемой активности, он смог избрать непроторенные пути. В истории астрономии это случалось довольно часто.

Теперь исследования, продолжавшиеся в течение двух столетий, завершились, широко распахнув ворота в необъятный простор звездного мира и проложив пути, по которым наука должна была развиваться в следующем веке.

---

*) Переменность β Лиры, δ Цефея и η Орла обнаружена в 1784 г., а R Щита — в 1795 г. (*Прим. ред.*)

ГЛАВА 32

ПРЕЦИЗИОННАЯ ТЕХНИКА

«Мы не можем обольщаться тем, что инструменты, если их еще больше усовершенствовать, позволят нам продвинуться вперед в увеличении точности измерений свыше одной секунды дуги. Весьма вероятно, что Брадлей установил в этом отношении предел наших знаний» [1]. Так писал в 1782 г. хорошо известный историк астрономии Жан Сильвиан Бэйи, позднее — председатель Учредительного собрания, игравший видную роль во Французской буржуазной революции. Удивление по поводу достигнутой точности (1″ — действительно очень малая величина, составляющая 0,01 *мм* на круге радиусом в 2 *м*) сочеталось здесь с наивностью людей XVIII в., полагавших, что развитие человечества уже почти завершилось, так как оно достигло господства в природе, а разум его постиг законы окружающего мира (физического и духовного, вернее, политического). Кто мог предполагать, что все это будет лишь прологом к безграничному, все ускоряющемуся общественному развитию, которое повлечет за собой беспредельное развитие науки во все более быстром темпе?

Во второй половине XVIII в. в Англии началась промышленная революция с ее глубокими общественными последствиями, которая в течение XIX в. распространилась и на соседние с Англией страны Европы, на Соединенные Штаты Америки и, наконец, захватила весь мир. Основой этой революции явилось развитие техники. Прежние небольшие кустарные орудия были заменены более производительными, остроумно сконструированными машинами, которые вскоре стали приводиться в движение паровой машиной. Из кустарных мастерских и мануфактур выросла крупная капиталистическая промышленность, которая приобретала все бóльшую власть в экономической жизни общества и наконец совершенно изменила облик мира. Вместе с тем изменились также и сами люди. Жестокая конкуренция предпринимателей не только вносила напряжение в эту борьбу, но и неустанно пробуждала в них новую энергию. В более или менее абсолютистском мире Европы эпохи позднего средневековья, где господствовали землевладение и торговля, теперь выдвинулся вперед сильный класс буржуазии — ведущий элемент нового общества. В результате ожесто-

ченной революционной борьбы (как во Франции) или глубоко идущей реформации (как в Англии) буржуазия захватила политическую власть и приобрела влияние в обществе. Буржуазные принципы личной инициативы и беспрепятственной свободы предпринимательства, мышления и торговли все больше проникали в общественную жизнь.

В этом экономическом развитии естественные науки постепенно стали составлять основу новой техники. Старые традиционные методы труда мало-помалу заменялись научно обоснованными. Поднимающийся класс буржуазии чувствовал, что наука ему необходима, что знание природы для него полезно и плодотворно; он поощрял эти занятия, учреждая университеты и лаборатории. Это делалось не только ради практической выгоды (для повышения производительности труда). В своем развитии наука порождала новый, более свободный образ мышления, направленный против старых традиций. Она стала вдохновляющей силой знания и просвещения, к которым все шире привлекался и народ. Прогресс и просвещение стали девизом нового времени.

То, что интерес к науке и оказываемое ей покровительство преследовали не только, или не главным образом, одну цель — прямую практическую пользу, довольно ясно видно по тому большому вниманию, которое уделялось астрономии. Астрономия (как и математика) тогда еще была самой высокоразвитой наукой и, следовательно, пользовалась наибольшим уважением. Она была подходящей областью для бескорыстных поисков чистого знания [2]. Основание многих новых обсерваторий, как частных (любительских, строившихся богатыми гражданами), так и «исследовательских институтов», связанных с большими университетами, может служить примером того, какое важное место заняла наука в новом мире идей человека XIX в. [3].

Возникновение машинной индустрии создало техническую базу также и для прогресса астрономии. Производство машин, необходимых для фабрик и транспорта, требовало развития новой высоко совершенной техники обработки железа и стали. Необходимо было научиться изготовлять точно соответствующие друг другу детали и строго круглые оси для быстро вращающихся колес. Это усовершенствование техники обработки металла — основы промышленности XIX в.— оказало влияние и на всю технику. Оно дало возможность и в изготовлении астрономических инструментов перейти от прежней несовершенной ручной работы к значительно более совершенной механической. Теперь мастерами по изготовлению инструментов стали способные к технике люди, которые с любовью и старанием строили тщательно обработанные измерительные инструменты из новых технических материалов. Английские фирмы Рамсдена, Кери, а также позднее возникшая

фирма Троутон и Симмс, все еще оставались. Однако теперь с ними начали конкурировать также и немецкие мастера. За общим оживлением интеллектуальной жизни Германии конца XVIII в., проявившимся в расцвете литературы, музыки и философии, последовал лишь через полвека экономический и политический подъем. Он затронул также и естественные науки, в которых Германия вскоре заняла видное положение, наряду с Англией и Францией. Германия вышла вперед также и по обновлению и усовершенствованию прецизионной техники. Были основаны новые мастерские по изготовлению точных инструментов. В 1802 г. в Гамбурге возникла мастерская И. Г. Репсольда, которая, переходя от отца к сыну, на протяжении всего XIX в. сохраняла за собой ведущее положение. В 1804 г. в Мюнхене Г. Рейхенбах основал другую мастерскую. Часто подобные мастерские начинали с малых инструментов — альтазимутов для геодезических работ и секстантов для навигации, постепенно переходя к решению все более сложных задач.

Для определения положений звезд теперь вошел в употребление новый тип инструмента, выпущенный немецкими мастерскими. Он представлял собой пассажный инструмент, на оси которого был закреплен градуированный круг для измерения склонений; инструмент получил название «меридианного круга» или «переносного круга», использовавшегося для одновременного измерения прямого восхождения и склонения. Теперь можно было отказаться от старых стенных квадрантов, этих несколько неуклюжих инструментов, ошибки установки и разделения кругов которых было трудно определить, вследствие чего подобные инструменты старались делать как можно более тяжелыми и неподвижными. В противоположность этому меридианный круг был совершенно симметрично построен, тщательно отделан и в то же время давал возможность определить все остающиеся ошибки. Раньше при определении склонений для обеспечения точности отсчета кругов старались делать круг очень большого радиуса (только поэтому и выбирали четверть круга или квадрант). Теперь же радиус делали все меньше и меньше, следовательно, искажение круга из-за разности температур и изгибание его под действием силы тяжести становилось меньше. При использовании сложных кругов, вращавшихся вокруг оси, отсчеты делений которых проводились при помощи неподвижно закрепленных микроскопов, ошибки стали значительно меньше; их можно было легко определить или исключить. Точность получавшихся отсчетов обеспечивалась и тем, что деления наносились теперь более резко, а отсчеты проводились при помощи микроскопов, первоначально снабженных только нониусом, а позднее — микрометром. Если один оборот винта соответствовал 1′ на оправе круга, в том случае, когда головка винта была

разделена на 60 делений, без труда можно было снять отсчет с точностью до 0″,1. Одновременно улучшилось качество телескопов, укреплявшихся под прямым углом к оси. Ахроматический объектив диаметром в 10 *см* или больше давал не только хорошие и чистые изображения звезд, но и делал их значительно более яркими, так что можно было без труда наблюдать в освещенном поле зрения слабые звезды до девятой величины. В фокусе телескопа находились одна горизонтальная и несколько вертикальных нитей. Тончайшими движениями винтов телескоп устанавливался так, чтобы звезда двигалась точно вдоль горизонтальной нити и затем это движение отсчитывалось на барабанах микроскопов. Кроме того, промежутки времени, за которые звезда, рассматриваемая при сильном увеличении, быстро проходила поле зрения, пересекая вертикальные нити, отмечались по тиканию хронометров с точностью до десятых долей секунды. Позднее, с 1844 г., вместо метода «глаз и ухо», когда, визируя звезду, наблюдатель одновременно прислушивался к ударам хронометра, из Америки пришел новый метод регистрации прохождений, все более входивший в употребление. Теперь наблюдатель только следил глазами за звездой и в момент, когда она пересекала нить, замыкал электрический контакт (рубильником, который он держал в руке), делавший на телеграфной ленте отметку рядом с секундными отметками, впечатывавшимися специальными часами. Это сделало наблюдения более удобными и точными. Случайная ошибка отмеченного таким образом момента была не больше 0^s,06, а при усреднении по многим нитям ошибка становилась значительно меньшей.

Усовершенствование инструментов не могло, однако, обойтись без астронома, который, предъявляя все более высокие и детальные требования к мастерам, строившим инструменты, по-настоящему поощрял и направлял их работу. Новатором в области точного астрономического измерения стал в начале XIX в. кенигсбергский астроном Фридрих Вильгельм Бессель (1784—1846). Как и многие другие первоклассные астрономы, он пришел в астрономию как любитель. Будучи клерком торговой конторы в Бремене и стремясь увеличить свои торговые возможности участием в плаваниях, он начал изучать книги об определении места корабля на море и постепенно все больше углублялся в астрономическую теорию и практику. Способный к математической теории и не менее упорный в практических измерениях и вычислениях, он с самого начала построил всю свою работу на тщательно разработанной теоретической основе и точном вычислении, которые значительно превосходили относительно грубое качество имевшегося материала. Опубликованием своей первой статьи, содержавшей редукцию гарриотовских наблюдений кометы Галлея в 1607 г.,

которую высоко оценили Ольберс и Фон Цах, Бессель вступил в гильдию астрономов. Вскоре он так удачно повел свои дела, что стал ассистентом частной обсерватории Шретера в Лилиентале, а в 1810 г. был приглашен в Кенигсберг для организации новой обсерватории. Мастерство Бесселя, выдвинувшее его на ведущее место в астрономическом мире, ярко проявилось при обработке им наблюдений Брадлея, печатание дневников которого только что закончилось. Это был самый лучший материал XVIII в., где наблюдатель тщательно определил ошибки своих инструментов или сделал пометки о том, как их учесть. И все же Бесселю пришлось самому вывести не только эти ошибки, но также и все необходимые астрономические величины, такие как аберрация, нутация и рефракция, которые были необходимы для редукции брадлеевских наблюдений. Таким образом, он намного превзошел все то, что было достигнуто в этом отношении за первую половину столетия. Поэтому он имел право назвать свою работу, опубликованную в 1818 г., «Fundamenta Astronomiae» («Основы астрономии»). Исходя из точности редукций брадлеевского материала, он установил новый, более высокий стандарт как для конструкторов новых инструментов, так и для работы самих астрономов. В 1820 г. Бессель установил на своей обсерватории в Кенигсберге меридианный круг Рейхенбаха (рис. 50), а в 1841 г.— еще более усовершенствованный крупный современный инструмент Репсольда. [С этими инструментами он мог уже сам показать пример новых точных наблюдений.]



Рис. 49. Фридрих Вильгельм Бессель

Бессель провозгласил принцип, что астрономический измерительный инструмент никогда полностью не соответствует своему абстрактному математическому идеалу, и лишь точное определение всех его отклонений от этого идеала (при условии бо́льшей надежности и, следовательно, устойчивости) и введение соответствующих поправок может дать результаты, полученные как бы при помощи совершенного, безошибочного инструмента. «Каждый инструмент,— говорил Бессель,— таким образом изготовляется

дважды: сначала в мастерской — из латуни и стали, а затем вторично — астрономом на бумаге при помощи списка необходимых поправок, которые он получает при своем исследовании»[4]. Точно измерить ошибки проще, чем сконструировать безошибочный инструмент, поэтому Бесселю пришлось тщательно определить все величины, характеризующие инструмент, все малые отклонения от идеальной конструкции, чтобы ввести поправки за них при обработке результатов измерения. Оптическая ось телескопа не точно перпендикулярна оси вращения, которая также расположена не строго в направлении с востока на запад. Стальные втулки, на которых покоится ось,— не точно одинаковой толщины и не совсем круглые. Штрихи делений нанесены не абсолютно правильно, и даже инструменты, изготовленные в лучших мастерских, могут иметь отклонения от строгой градуировки кругов. Везде оставались еще неточности, доходившие до тысячных и даже сотых долей миллиметра. Большинство этих отклонений изменялось в зависимости от температуры, состояния погоды и времени. Таким образом, наблюдения приходилось проводить так, чтобы ошибки можно было всегда определить и исключить. Наконец, приходилось вводить еще поправки за прецессию, нутацию и аберрацию. Для того чтобы облегчить эту работу и помочь любому наблюдателю проводить ее одинаковым образом, Бессель начал издавать с 1830 г. ежегодные «Tabulae Regiomontanae» («Кенигсбергские таблицы»), которые с тех пор стал использовать для редукций каждый астроном и которые до настоящего времени составляют постоянную часть астрономических ежегодников.

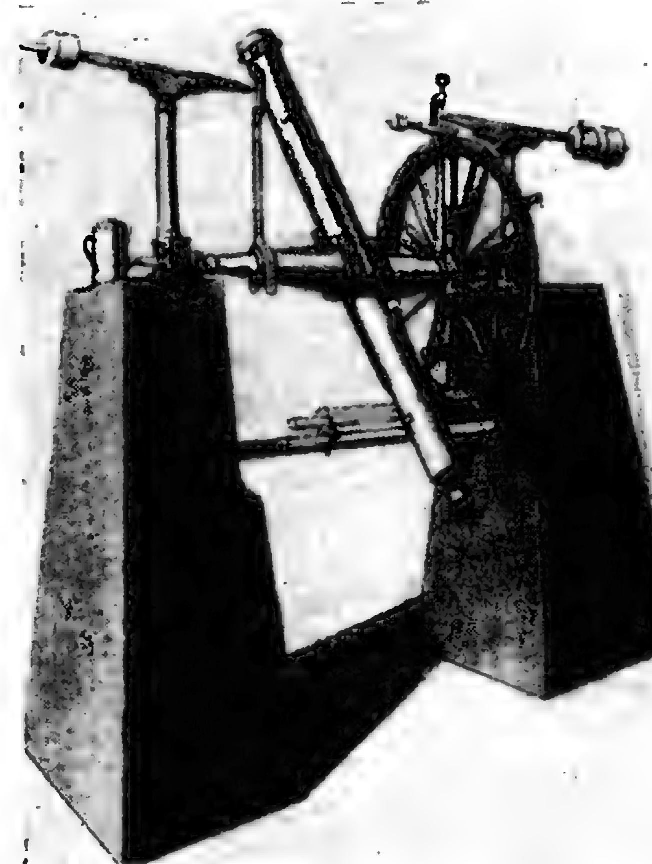


Рис. 50. Меридианный круг Рейхенбаха.

Построенный и действующий таким образом меридианный круг стал основным измерительным инструментом астрономии XIX в. На многих вновь основанных обсерваториях как малых (почти в каждом университетском городе), так и больших (таких, как

Гринвич, Пулково, Париж и Вашингтон), меридианный круг стал основным инструментом, лишь более или менее отличавшимся по конструкции. В Пулкове был добавлен еще «вертикальный круг» для скоплений. Результаты многолетней наблюдательной работы объединялись в виде каталогов прямых восхождений и склонений; подобные каталоги стали выходить десятками, причем стандарт точности поднялся по склонению до одной сотой дуговой секунды (0″,01), а по прямому восхождению — до одной тысячной секунды времени (0″,001) *). При таком возрастании точности работа Брадлея, которая в редукции Бесселя должна была давать все элементы, оказалась теперь необходима только для получения собственных движений 3000 звезд. Новая редукция, проведенная А. Ауверсом на основании современных данных, опубликованная в 1888 г., дала хорошие положения, хотя эти наблюдения, проведенные 100 лет назад, конечно, не были на уровне новых стандартов. Однако в начале XX в. в этом не было уже необходимости. Льюис Босс при выводе собственных движений для звезд своего каталога имел в своем распоряжении новые наблюдения высокого качества, охватывающие более столетия.

В XVIII в. Англия занимала ведущее положение в составлении звездных каталогов, в XIX в. началось более медленное развитие подобных работ и на континенте. Вскоре после 1835 г., когда Дж. Б. Эри возглавил Гринвичскую обсерваторию, здесь впервые был получен меридианный круг немецкой модели. Недостатки в качествах этого инструмента компенсировались непрерывной продолжительностью рядов наблюдений, охватывавших не только звезды, но также Солнце, Луну и планеты. Гринвич был давно сформировавшимся учреждением со старой, нередко консервативной традицией, солидной репутацией и установившейся клиентурой: запросами всемирного мореплавания. Со временем к этой работе Гринвичской обсерватории присоединились Кэптаун (на мысе Доброй Надежды) и новая американская морская обсерватория в Вашингтоне.

Задачей всех меридианных работ — основы современного точного знания вселенной — было определение положений звезд, проводившееся по двум программам. Первая из них включала определение (с наивысшей точностью) положений небольшого числа фундаментальных звезд. Это число колебалось от 36 фундаментальных звезд Маскелайна до 400, включенных в ежегодники и, наконец, до 3000 брадлеевских звезд, причем координаты таких звезд ниоткуда не заимствовались, а выводились каждым наблюдателем самостоятельно. Вторая программа охватывала определение положений огромного числа телескопических звезд привязкой к уже известным фундаментальным звездам. Первая, наиболее трудная программа стала главным делом лучших наблюдателей XIX в. Хорошо знать собственное движение хотя бы 10 000 слабых звезд было настолько важно, что уже сам Бессель занимался этими наблюдениями (между 1821 и 1833 гг.), посвящая им бо́льшую часть своей работы на меридианном круге. Это было составление так называемого «зонного каталога», потому что здесь отмечалось последовательное прохождение через меридиан звезд, расположенных примерно на одинаковой высоте и заключенных в пределах пояса или зоны определенных склонений. До Бесселя, в 1788—1803 гг., такое наблюдение слабых звезд было уже выполнено в Париже Лаландом, правда, при помощи более примитивных средств. За Бесселем теперь последовали и другие. Однако все эти звезды, выбиравшиеся более или менее случайно и неравномерно распределенные, не составляли полной коллекции. Это стало возможно лишь тогда, когда в 1871 г. Astronomische Gesellschaft поставило дело на кооперативную основу. Каждая из тринадцати обсерваторий (позднее их число возросло до шестнадцати) получила определенную зону склонений (между 5° и 10°; 10° и 15° и т. п.), в пределах которой она обязывалась определить единым методом положения всех звезд до девятой величины, включенных в заранее составленный список. Прошли десятилетия прежде, чем эта программа, охватывавшая более 100 000 звезд, была завершена. Эта было вызвано тем, что программу пришлось дополнить звездами южного неба. Теперь можно было вывести собственные движения для большинства звезд, наблюдавшихся ранее Лаландом или Бесселем. Однако основная идея этой работы заключалась в том, чтобы, повторив ее в XX в., получить как можно лучшие значения собственных движений всех звезд.

Естественно, что методы меридианных наблюдений на протяжении XIX в. не оставались на одном и том же уровне. Достижение идеала строго точного определения положений наталкивалось на многочисленные трудности, но это заставляло астрономов непрерывно продолжать исследование и улучшение методов. Хотя вообще, при небольших различиях отдельных результатов, можно было бы получить высокую точность, измеряемую несколькими сотыми долями секунды, опыт вскоре разочаровал: сравнение результатов различных обсерваторий выявило значительно бо́льшие отклонения, доходящие до десятых долей секунды, а иногда — и до целых секунд. Для каждой координаты эти отклонения имели медленный систематический ход по небу; только когда все каталоги постепенным введением поправок редуцировались к какому-либо среднему или стандартному каталогу, удавалось получить и лучшее согласие результатов отдельных обсерваторий. Но был ли

*) Такая точность носит чисто формальный характер и по существу еще не достигнута. (*Прим. ред.*)

принятый стандарт или усреднение точным? Не было совершенно никакой уверенности в том, что в них не входила систематическая ошибка того же порядка величины.

Источники ошибок, одинаковые для различных наблюдателей и инструментов, было легко открыть. В прямом восхождении они целиком зависели от постоянства хода часов. Астрономические часы служат не для того, чтобы можно было посмотреть, который час; они являются инструментом, при помощи которого измеряется протекшее время, т. е. вращение небесной сферы. Способные часовщики на протяжении всего XIX в. с величайшим старанием работали над тем, чтобы снабдить обсерватории часами все более возрастающей точности. Однако температура и давление воздуха, особенно разность температур в механизме часов и вдоль маятника, а также другие почти незаметные возмущения — толчки или трение, могли оказать влияние на ход часов и вызвать незначительную разность хода между днем и ночью, которая могла привести к большим систематическим ошибкам в прямом восхождении. Для того чтобы их уменьшить, основной часовой механизм обсерватории подвешивался на неподвижно установленной колонне с глубоким фундаментом, часто в подвале с постоянной температурой и в футляре, из которого был выкачан воздух. Сам часовой механизм также непрерывно улучшался, прежде всего в том направлении, чтобы как можно больше освободить маятник от возмущающего влияния остальных частей механизма и отрегулировать его ход. Наиболее совершенным осуществлением этого принципа явились часы, сконструированные Шортом, которые вошли в употребление с 1924 г. Здесь маятник (главных часов) качался совершенно свободно и предназначался только для того, чтобы поддерживать ход рычажного механизма вторых (вспомогательных) часов, в то время как они в свою очередь малыми регулярными импульсами поддерживали ход первых часов.

Другим источником систематических различий в прямом восхождении были так называемые «личные» ошибки, замеченные еще Бесселем. Каждый наблюдатель оценивает и регистрирует момент прохождения движущейся звезды через нить всегда одним и тем же определенным образом, в большинстве случаев несколько запаздывая, а иногда опережая явление. Чем больше опыта приобретает наблюдатель, тем более неизменным образом он отмечает этот момент; таким образом ошибка не уменьшается, а лишь становится более устойчивой. Ход этой ошибки (которая может доходить до многих десятых долей секунды времени), как показывают опыты и наблюдения с искусственными звездами, может сильно изменяться в зависимости от яркости звезды, от скорости ее движения и от других обстоятельств. Вследствие этого возникает систематическая ошибка в прямом восхождении, зависящая от склонения и яркости звезды. Главным образом для того, чтобы устранить этот недостаток, Репсольд в 1889 г. ввел в употребление саморегистрирующую движущуюся нить. Наблюдатель, следя за звездой, наводил на нее подвижную нить и удерживал ее так, чтобы она всегда рассекала изображение звезды точно посередине, а оправа этой нити замыкала электрические контакты, причем моменты замыкания регистрировались на телеграфной ленте и затем изучались. При этом также не удалось полностью освободиться от личной ошибки: каждый наблюдатель в спокойном состоянии наводит нить на светлую точку всегда несколько правее или левее; все же эта ошибка стала в 10 и более раз меньше, чем при наблюдениях старым методом. Вариации этих ошибок, зависящие от яркости и скорости звезды, также значительно уменьшились, дойдя до нескольких сотых секунды времени. Таким образом, теперь удалось, хотя лишь в основных чертах исключить источники систематических ошибок при определении прямых восхождений.

Значительно сложнее обстояло дело с ошибками по склонению. Когда телескоп, вращаясь в меридиане, описывает дугу от точки юга через зенит до севера, он с каждым новым склонением занимает положение, имеющее иной наклон относительно направления силы тяжести и горизонта. Из-за неравномерного распределения нагрузки в металлических частях возникали различные изгибания как телескопа, так и кругов, которые приводили к тому, что при измерениях инструмент не удавалось привести точно в горизонтальное или вертикальное положение. Еще более опасным было влияние рефракции (преломления лучей в атмосфере), которая уже на протяжении всех предшествующих столетий мешала точному определению звездных положений. Способные математики XIX в. начиная с «гражданина Крампа» из Кельна, работа которого, опубликованная в 1800 г. (седьмом году Республики), была использована Бесселем, постоянно развивали и уточняли теорию рефракции и вычисляли изменения ее величины с высотой звезды. Однако для малых высот над горизонтом оставалось еще много неточностей из-за того, что изменения температуры, а следовательно, и давления в верхних, недоступных слоях атмосферы не были точно известны. В том, какое это имеет значение, можно убедиться на следующем примере. На высоте в 30°, где ни один астроном не решается измерять склонения, преломление лучей достигает 160″, т. е. для введения поправки за рефракцию с точностью до 0″, 01 здесь пришлось бы вычислять ее значение с точностью до $^1/_{16\,000}$ этой величины. Таким образом понятно, что атмосферная рефракция является источником систематических ошибок в определении склонений. Но и это — еще не самая страшная погрешность. Наиболее пагубны те неточности, которые остаются

неизвестными и которые невозможно учесть при обработке наблюдений. Так, например, иногда слои воздуха могут располагаться наклонно, или же их температура может повышаться с высотой, вместо того, чтобы становиться ниже (как это часто бывает зимой при ясной морозной погоде). Кроме того, внутри помещения для наблюдений температура обычно бывает несколько выше температуры наружного воздуха, несмотря на все попытки сравнять их, а линия, разделяющая области разных температур, идет вдоль стен и крыши. Все эти влияния варьируют в обсерваториях, расположенных на разных широтах, но нигде не исчезают полностью. Поэтому не удивительно, что даже в каталогах, составленных самым тщательным образом, обнаруживаются большие систематические ошибки, которые остаются довольно заметными и в системе, принятой в качестве стандарта. Вполне понятны сетования Каптейна в 1922 г., незадолго до его смерти: «Я не знаю во всей астрономии ничего более удручающего, чем переход от обсуждения случайных ошибок звездных положений к обсуждению их систематических ошибок. В то время, как многие из наших меридианных инструментов так совершенны, что по одному единственному наблюдению можно определить координаты экваториальной звезды с вероятной ошибкой, не превосходящей 0″,2 или 0″,3, окончательный наилучший результат можно получить только из тысячи наблюдений на всех наших лучших обсерваториях вместе взятых, причем действительная ошибка будет еще составлять половину дуговой секунды и более».

Еще сам Каптейн показал, что считавшаяся тогда наилучшей стандартная система Л. Босса содержала в себе большие ошибки из-за того, что усредненные значения, выведенные по собственным движениям звезд, для некоторых зон склонения отклонялись то к северу, то к югу. Новая система, выведенная Копфом (Берлинское Астрономическое вычислительное бюро) из лучших рядов современных наблюдений, в указанных зонах действительно отклонялась от системы Босса. Для того чтобы выяснить причину этого отклонения, были необходимы совершенно новые наблюдения, проведенные таким образом, чтобы изгибание телескопа и рефракция не играли совершенно никакой роли в определении склонений. Для наблюдателя на экваторе, где полюсы неба лежат на горизонте, звезды всех склонений, но одного и того же прямого восхождения, располагаются рядом друг с другом на горизонте или несколько выше него. В этом случае разность склонений можно измерять при помощи горизонтального круга как разность азимутов, т. е. совершенно независимо от влияния рефракции.

Руководствуясь этими соображениями, Лейденская обсерватория в 1931—1933 гг. послала двух наблюдателей в Кению

(Центральная Африка) для измерения склонений при помощи точного азимутального инструмента. Полученные результаты показали, что в стандартную систему, действительно, необходимо вводить систематические поправки предполагавшегося характера и величины (+0″,6 для 30° южного склонения; 0″ для 10° и +0″,3 для 30° северного склонения) и что берлинская система значительно ближе к истине. Естественно, что обнаружились также и инструментальные затруднения, для устранения которых необходимо было проводить повторные наблюдения. Открылся путь к построению свободной от таких систематических ошибок системы склонений звезд.

Теперь вернемся к началу XIX в., чтобы рассмотреть прогресс техники в других областях астрономии. Прежде всего обратимся к самой оптике, т. е. линзам для телескопов. Введение Доллондом ахроматической системы линз, правда, внесло определенное улучшение, но из-за несовершенства методов изготовления стекла технические возможности телескопов вплоть до XIX в. не могли значительно возрасти. Эти трудности удалось преодолеть главным образом благодаря работам талантливого баварского самоучки Йозефа Фраунгофера (1787—1826). В 1806 г. он поступил на службу в мастерскую Утцшнейдера и Рейхенбаха, где впоследствии стал руководителем оптической части. После раздела фирмы в 1817 г. Фраунгофер совместно с Утцшнейдером — богатым финансистом, глубоко интересовавшимся наукой,— основал в Мюнхене первый Оптический институт. При этом пришлось преодолеть трудности двух видов. Прежде всего, значения показателей преломления разных типов стекол, необходимые для расчета линз, были известны весьма ненадежно, «так что при всей точности расчетов ахроматических объективов их совершенство сомнительно и редко соответствует ожиданиям»[6]. Кроме того, неудовлетворительным был и материал, особенно английский флинтглас, «который никогда не бывает свободен от шлир»[7]. С тайнами техники стекловарения Фраунгофера познакомил его коллега П. Л. Гинан, франко-швейцарский специалист по изготовлению стекла, которому в 1799 г. после двадцатилетних экспериментов удалось отлить чистые флинтгласовые диски диаметром от 10 до 15 *см*. Продолжив эти попытки, Гинан смог впоследствии получить еще бóльшие диски хорошего стекла диаметром в 30 *см* и 35 *см* (свариванием небольших кусков хорошего стекла в размягченном состоянии). Заложенные им традиции и профессиональное искусство сохранялись позднее на многих французских заводах оптического стекла.

Фраунгофер углубился в изучение преломления света различных цветов линзами и призмами, проводя точные измерения с теодолитом. При этом, однако, он все время сталкивался с неопре-

деленностью: к какому виду света — красному, желтому или голубому — отнести полученный результат. Во время этих экспериментов с солнечным светом Фраунгофер открыл в призменном спектре Солнца темные линии, названные впоследствии его именем. «Многочисленные опыты и их видоизменения,— писал он в 1817 г.,— убедили меня в том, что причина возникновения этих линий и полос лежит в самой природе солнечного света, а не обусловлена дифракцией или дýхами» [8]. Он насчитал более 500 линий и самые яркие из них обозначил буквами от A до H. Теперь их можно было использовать в качестве точного признака для определенного вида света. Измеряя показатели преломления для каждого типа стекол, ему удалось рассчитать точную комбинацию линз, дающих наиболее полный ахроматизм. Таким образом, оптическая промышленность совершила скачок от искусства ремесленников к строго научному расчету. Практический результат, однако, был не намного проще. На собственном опыте Фраунгофер установил, что преломление лучей разных цветов не было строго пропорциональным в стеклах различного типа. Следовательно, было невозможно собрать лучи всех цветов точно в одном фокусе. Оставалась небольшая разность, так называемый «вторичный спектр». К тому же теория комбинаций линз была еще слишком сложной для того, чтобы вычислить лучшие сочетания чисто теоретическим путем. Однако благодаря практической интуиции и теоретической проницательности Фраунгоферу удалось изготовить превосходные объективы для телескопов диаметром до 24 *см*.

Стала улучшаться также и монтировка телескопов. Труба телескопа (у малых инструментов еще деревянная) стала закрепляться на конце оси склонений (вокруг которой она могла поворачиваться), при этом сама ось склонений могла вращаться вокруг оси, направленной на полюс. Все детали оси, круги для установки и винты для тонких движений тщательно изготовлялись из стали или латуни, точно подгонялись друг к другу и настолько хорошо уравновешивались, что огромный инструмент можно было привести в движение легким нажатием пальца. Этот (немецкий) тип монтировки телескопа (рис. 51) представлял собой во всех отношениях более высокую стадию совершенства и удобства в обращении по сравнению с неуклюжими зеркальными телескопами Гершеля предшествовавшего периода с их грубыми механизмами из канатов и балок для установки и движений. Прогресс, проявившийся в изготовлении астрономических инструментов, соответствовал переходу от грубо обработанного железного прута первой паровой машины XVIII в. (которую сейчас можно увидеть в одном из Лондонских музеев) к тщательно сделанной и отполированной машине фабричного изготовления XIX в. Объективы

давали превосходные изображения звезд по всему полю зрения в виде небольших резких кружков. [Это позволяло, при меньшем отверстии телескопа, одновременно и ясно видеть слабые звезды, а также более резко и отчетливо различать тонкие детали на поверхности Луны и планет.] Характерный для XIX в. тип телескопа, названный рефрактором, явился результатом приложения к астрономии высокоразвитой техники обработки металла и стекла и значительно превысил по точности то, что давало тонкое искусство прежних самоотверженных мастеров, изготовлявших инструменты. [Фраунгофер внес в этот телескоп еще одно важное, самое необходимое улучшение. Он придумал особый механизм, приводящий ось склонений в медленное вращательное движение вокруг полярной оси, настолько правильное, что телескоп точно следовал за звездами в их суточном вращении, так что они казались неподвижными в поле зрения телескопа.]

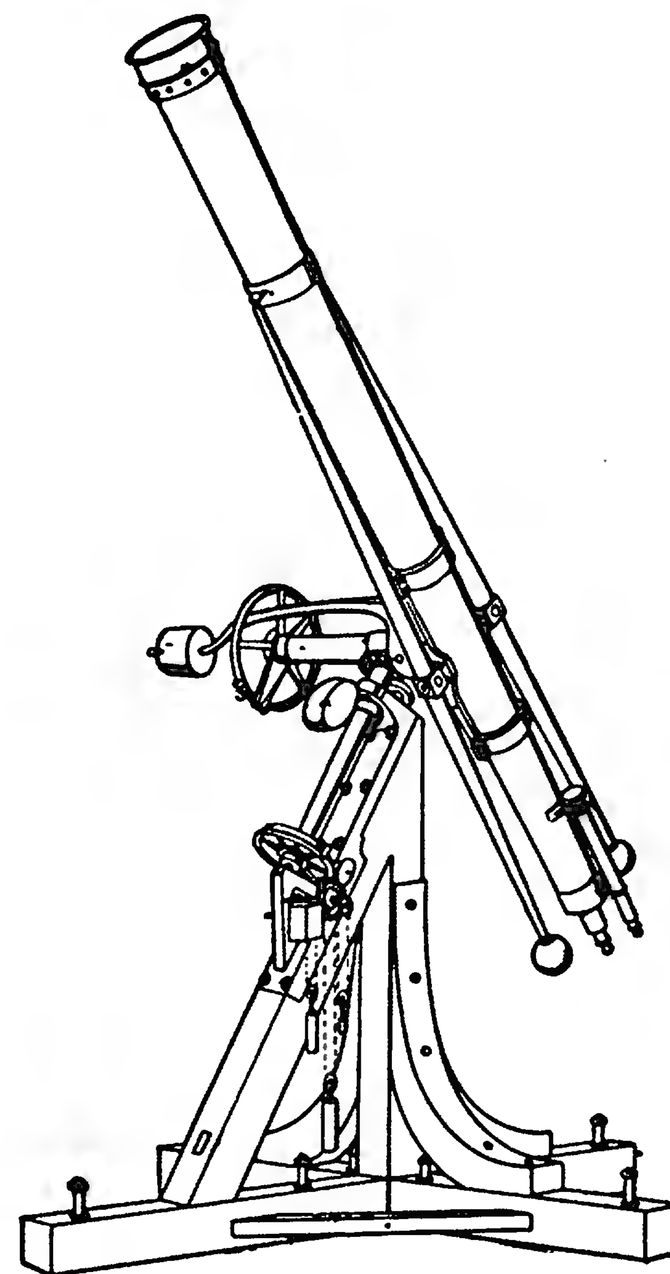


Рис. 51. Телескоп Фраунгофера.

В то время в Германии, наряду с Фраунгофером, работали и другие конструкторы, например Штейнхель, а в Англии улучшением старых типов телескопов занимались такие мастера, как [Рамсден и] Троутон. Наряду с рефракторами изготовлялись и зеркальные телескопы, сохранявшиеся из-за их большой светосилы. Так, Вильям Парсонс (лорд Росс) после двадцатилетних экспериментов установил в 1842—1845 гг. в своем имении Бир-Кэстль, возле Парсонстауна в Ирландии, зеркальный телескоп-рефлектор

с отверстием в 6 футов (182 *см*), при помощи которого он впервые открыл спиральную структуру некоторых туманностей.

Однако рефрактору все же отдавалось предпочтение. Мастерским удалось значительно продвинуться вперед в увеличении объективов, а вместе с тем и самих телескопов. После того, как Вильгельм Струве при своих наблюдениях двойных звезд убедился в хорошем качестве установленного в 1824 г. на Дерптской (ныне Тартуской.— *Н. Н.*) обсерватории телескопа с отверстием в 24 *см* (считавшегося в то время исполинским), инструментами этого типа стали оборудоваться различные обсерватории Германии и России. В 1839 г. последователь Фраунгофера Мерц установил на вновь основанной обсерватории на Пулковском холме возле Санкт-Петербурга телескоп с отверстием в 38 *см*. Эта обсерватория сооружалась по приказу царя Николая I как центральный научный институт.

В следующие десятилетия многие обсерватории Европы стали заказывать телескопы подобного типа, [но, по-видимому, теперь был уже достигнут предел увеличения инструментов]. В Германии это искусство остановилось на уже достигнутом уровне, и после 1870 г. немецких мастеров стала опережать английская фирма Грэбб. Между тем искусство шлифования линз начало развиваться в Америке, где оптик Альван Кларк из Вашингтона изготовил линзы невиданных размеров. Первым результатом его работы, превзошедшим все ранее достигнутое, был 18-дюймовый объектив (43 *см*) для Чикаго, прославившийся тем, что при проверочных испытаниях качества даваемых им изображений сын А. Кларка открыл в 1862 г. спутник Сириуса. После того как высокое качество линз Кларка было проверено на практике и создало ему имя, не только американские, но и европейские обсерватории стали оборудоваться телескопами с такими объективами, которые по размерам превзошли своих предшественников. Так, Вашингтон в 1871 г. получил 26-дюймовый (66 *см*) телескоп, при помощи которого Асаф Холл в 1877 г. открыл спутники Марса. В 1885 г. 30-дюймовый (76 *см*) телескоп был установлен в Пулкове. [Телескопы таких размеров (от 20″ до 30″) получили такое же распространение на обсерваториях того времени, какое имели во времена Фраунгофера телескопы с отверстием от 20 до 30 *см*.] Другие конструкторы теперь следовали по пятам за Кларком. Грэбб изготовил для Кембриджа 25-дюймовый телескоп, а братья Анри из Парижа изготовили в 1886 г. 76-сантиметровый рефрактор для Ниццы и 83-сантиметровый рефрактор для Медона.

В Америке, следовавшей английской традиции, получило широкое распространение мнение о том, что наука не является делом государства. Поэтому и обсерватории строились здесь не как связанные с университетами учреждения с установленным штатом, а как свободные частные предприятия. [Так, группа граждан Бостона уже в 1844 г. основала в Кембридже (штат Массачусетс) обсерваторию Гарвардского колледжа, которая была оборудована фраунгоферовым телескопом, по размерам таким же как пулковский.]

В конце XIX в. в США появились миллионеры, которые завладев еще неосвоенными богатствами огромного континента, постепенно стали монопольными хозяевами средств производства в растущей тяжелой индустрии и стали господствовать также и в общественной жизни. Часть этих миллионеров выступила в качестве покровителей науки. Они делали пожертвования университетам, основывали библиотеки и лаборатории, а также и обсерватории, которые оборудовались дорогостоящими инструментами. Поскольку главным побудительным мотивом подобных действий чаще всего была жажда славы, то средства жертвовались в первую очередь на гигантские телескопы, которые превосходили бы все ранее построенные, как это сделал, например, в своем завещании богатый калифорнийский спекулянт Джемс Лик. Когда после его смерти комиссия специальных «опекунов» получила возможность свободно распоряжаться денежными средствами, они были использованы прежде всего для заказа 36-дюймового телескопа. Он стал главным инструментом прекрасно оборудованной Ликской обсерватории, основанной в 1888 г. на горе Маунт Гамильтон, близ Сан-Франциско. Мантуа из Парижа, который поставлял оптическое стекло для этого телескопа, одновременно отлил еще несколько больший комплект стеклянных дисков, которые он предложил купить. Из них и был изготовлен 40-дюймовый (102 *см*) объектив, также кларковского типа, для основанной в 1897 г. Йеркской обсерватории в Вильямс Бей (штат Висконсин), принадлежащей Чикагскому университету. Оба этих гигантских телескопа были построены по тому же типу, что и меньшие европейские инструменты Фраунгофера, а механическая их часть была выполнена столь же тщательно. Они имели стройный, изящный вид (их длина была в 20 раз больше отверстия). Монтировка их была аналогична фраунгоферовой, только все было пропорционально больше, а следовательно, и тяжелее. Несмотря на массивность, эти произведения конструкторского искусства оказались столь же удобны в обращении. Сравнение гигантских телескопов с теми, которые применялись в начале века, дает наглядную картину прогресса науки и техники XIX в., достигнутого в искусстве изготовления линз, конструировании систем монтировки, контрольных механизмов и организации институтов. Теперь на ведущее место в мире в техническом отношении, а вместе с тем и в области практической астрономии стала все более выдвигаться Америка.

Само собой разумеется, что это быстрое развитие астрономической оптики опиралось в основном на технику стекловарения и шлифовки линз. И обратно, постоянно возраставшие требования, которые естествоиспытатели предъявляли к оптическим инструментам, стимулировали непрерывное усовершенствование этой техники. Во Франции объединившиеся впоследствии мастерская Мантуа и завод Сен Гобэн удачно изготовляли все более крупные и высококачественные стеклянные диски. В Германии теперь выдвинулась основанная Эрнстом Аббе в Иене мастерская «Карл Цейсс-Верке», которая вскоре приобрела широкую известность. На связанном с этой фирмой заводе Шотта стали проводиться эксперименты с новыми сортами стекла для получения свойств, особенно необходимых ученым, в частности, устранение вторичного спектра. Не гонясь за большими размерами, завод Цейсса снабжал всевозможными новыми конструкциями многие крупные обсерватории мира.

Однако теперь был действительно достигнут предел. Линзы диаметром в 1 *м* были столь толсты, что поглощение света в стекле играло здесь серьезную роль. К тому же эти линзы были так тяжелы, что прогибались под действием собственного веса. Следовательно, если бы и удалось изготовить более крупные однородные стеклянные диски, их нельзя было бы использовать в телескопах. [Если астрономы хотели еще дальше усовершенствовать свои гигантские «глаза», им следовало искать для этого другие пути.]

Теперь нам снова придется вернуться к началу XIX в., в мастерскую Фраунгофера. Еще более важным, чем улучшение оптики телескопа, было то, что Фраунгофер сумел превратить этот телескоп в наилучший, точнейший измерительный инструмент. Небольшие расстояния между близкими друг к другу звездами или размеры малых планетных дисков можно, по сути дела, измерить значительно точнее, чем координаты каждого отдельного объекта, так как всевозможные источники ошибок, одинаковые для соседних точек, при измерении расстояний между ними исключаются. Для подобных измерений служили микрометры. Фраунгофер установил на каждом из своих телескопов нитяной микрометр, которыми и теперь (после тщательного изготовления и выверки во всех частях) снабжаются измерительные инструменты высокой точности. Чисто обработанный винт с тонкой нарезкой (т. е. малым шагом) перемещает подвижную нить относительно неподвижного креста нитей. Величина смещения отсчитывается по делениям, нанесенным на головке винта. Поворачивая весь микрометр вокруг оси телескопа так, чтобы неподвижная нить совпала с направлением на две выбранные звезды, можно отсчитать и это направление. Таким образом, даются полярные координаты относительного положения двух объектов, т. е. позиционный угол и расстояние.

Для использования такого измерительного инструмента необходимо, чтобы телескоп совершенно точно перемещался вслед за суточным вращением неба. Непосредственные микрометрические измерения расстояний были бы невозможны, если бы звезды в поле зрения телескопа не оставались неподвижными на своих местах. Для использования такого микрометра, конечно, необходимо, чтобы телескоп точно следовал за звездами так, чтобы они постоянно были видны в поле зрения. Тогда можно было навести нить точно на центр звездного изображения. Вильям Гершель не мог сделать этого, потому что его телескоп не следовал автоматически за звездами. Так, наводя нить на двойную звезду, он мог измерять расстояния, оценивая их только по сравнению с расстояниями звезд, проходящих в поле зрения телескопа. Этим объяснялось значительное увеличение достигнутой теперь точности. При этих измерениях второй десятичный знак дуговой секунды не был уже излишней роскошью или отдельным результатом усреднения. Сотые доли дуговой секунды служили естественной единицей, относительно которой ошибки непосредственного измерения составляли лишь незначительную часть. У всех последующих телескопов-рефракторов, вплоть до американских гигантов, нитяной микрометр явился неотъемлемой составной частью, которая только и обусловливала широкое применение этих телескопов.

Та же самая степень точности допускалась и для другого типа измерительных инструментов. В XVIII в. Бугер изобрел для измерения диаметра Солнца «гелиометр», состоявший из двух расположенных рядом одинаковых линз, расстояние между которыми измерялось в тот момент, когда создаваемые ими изображения Солнца соприкасались. Рамсден усовершенствовал этот инструмент, взяв половинки линзы, которые давали одинаковые изображения Солнца. Перемещая половинки линз вдоль линии разреза, можно было получить совпадение или расхождение двух изображений и измерять как малые, так и большие расстояния. Фраунгофер предложил поместить две половинки вышеупомянутого объектива в оправы, которые двигались одна вдоль другой при помощи микрометрического винта. Их перемещения отсчитывались по точно градуированной миллиметровой шкале.

Так, под названием гелиометра он сконструировал для обсерватории в Кенигсберге для знаменитого Бесселя первоклассный измерительный инструмент, который мог применяться не только как нитяной микрометр для измерения небольших расстояний в поле зрения телескопа, но также и для измерения значительно бо́льших расстояний, до нескольких градусов. Его удалось изготовить лишь в 1829 г., через три года после смерти Фраунго-

фера. Благодаря тому, что Бессель (во время своих первых определений звездного параллакса) провел основательное теоретическое и практическое исследование этого инструмента, он получил права гражданства в астрономии. После этого гелиометр на протяжении многих лет, вплоть до конца XIX в., использовался для многочисленных измерений относительных положений звезд и планет (при небольших расстояниях).

Однако постепенно его стали вытеснять другие инструменты, входившие в астрономическую практику. С середины XIX в. к небесным телам стала все больше применяться фотография. Первые фотографии Солнца и Луны показали преимущество этого метода перед визуальным, так как за короткое время экспозиции удавалось получить все детали расположения и формы солнечных факелов и лунных гор, для нанесения которых на карту раньше требовались долгие часы и дни измерений и многие годы зарисовок. Поскольку ахроматизованные относительно визуальных лучей объективы не давали резкого изображения для действующих в фотографической части спектра синих лучей (из-за возникновения вторичного спектра), Л. М. Рутенфурд впервые сконструировал в 1864 г. в Нью-Йорке особый фотографический объектив с отверстием в 29 *см*. С этим объективом он получил в 1865 г. первые пригодные фотографии звездного неба[9]. Любой прогресс в методах фотографии теперь непосредственно отражался на ее астрономических приложениях. Такова прежде всего была замена в 1871 г. пластинок, применявшихся при мокром коллодионном процессе, значительно более чувствительными сухими броможелатиновыми пластинками. В результате этого фотографические изображения слабых телескопических звезд получались через короткий промежуток времени. Вскоре оказалось, что измерение отличных, симметрично-круглых, хотя и более крупных изображений на пластинке, значительно удобнее и более точно, чем измерение неправильно колеблющейся звезды непосредственно в поле зрения телескопа, так как экспонирование усредняло неправильности. Таким образом, фотографирование, с последующим спокойным измерением пластинок в лаборатории, все более заменяло собой прямые измерения с телескопом.

Наряду с выигрышем в точности фотография имела и три других преимущества. Во-первых, все звезды, попавшие в поле зрения, получались на пластинке одновременно, и для экспонирования могла быть использована любая ясная ночь. Кроме того, измерение пластинок можно было отложить до тех пор, пока это потребуется. Во-вторых, фотография давала возможность просто увеличением времени экспонирования добиваться увеличения изображения и улучшения его видимости, как будто мы применяем инструмент бóльших размеров. И, в-третьих, на фотографиях,

получаемых с широкоугольными инструментами (имеющими сравнительно небольшое фокусное расстояние), очень возросла поверхностная яркость самых слабых, почти или совсем невидимых туманных образований, таких как облака Млечного Пути и хвосты комет, которые теперь впервые открыли человеку свое сложное строение.

Астрономия при этом воспользовалась прецизионной техникой оптических линзовых систем, начавших развиваться применительно к фотографии с самого изобретения ее в 1839 г. Трудоемкие теоретические расчеты Зейделя и Петцваля и связанная с ними практическая изобретательность таких конструкторов, как Шевалье, Штейнхель, Брашер и Цейсс, позволяли создавать все более совершенные и разнообразные типы оптических систем, состоящих из различных комбинаций линз. Возник вопрос о том, как для любой точки протяженного тела все исходящие из него лучи различных цветов собрать в одну точку, чтобы можно было получить резкое изображение по всему плоскому полю. Всем требованиям, предъявляемым к светосиле, к протяженному полю, к свободному от искажений изображению не удавалось удовлетворить одновременно. В соответствии с конкретной целью исследования то одно, то другое требование становилось основным. Таким образом, появилось множество различных типов линзовых систем, начиная от триплета до комбинации из шести или восьми линз. Портретные объективы, позволяющие получить большую светосилу, распространились по всему миру в сотнях тысяч камер фотографов-любителей. При относительном отверстии 1 : 5 или 1 : 4 их используют и многие астрономы. Такие объективы более крупных размеров, сконструированные специально для обсерваторий, составили, наряду с телескопами, новый тип инструментов, открывших ранее совершенно неизвестные возможности в изучении небесных объектов.

Обычный ахроматический объектив, состоящий из двух линз, дает некоторым образом искаженное изображение окружающего. Этот дефект можно исправить, воспользовавшись тщательно рассчитанной системой из большего числа линз. Когда об этом еще не знали, достижение братьев Анри (Париж) в области астрономической фотографии вызвало всеобщее воодушевление. Им удалось с самодельными объективами получить фотографии звезд до 14^m. В 1889 г. на международной конференции в Париже был несколько поспешно принят обширный план, предусматривавший фотографирование всех звезд неба до четырнадцатой величины с измерением положений всех звезд до двенадцатой величины. Работы по составлению этого атласа всего неба, так называемой «Carte du Ciel», проводились совместно двенадцатью обсерваториями, снабженными одинаковыми фотографическими телескопами

высокого качества. Так как пластинки охватывали не больше 2°, искажений из-за дисторсии практически не было. Однако количество полученных пластинок оказалось так велико, что после десятков лет работы конца еще не было видно.

В 1928 г. Шлезингер доказал, что точность определения положений звезд на больших пластинках со стороной 5°, полученных с хорошими оптическими системами, равна точности определения этих положений на меридианном круге. Действительно, Astronomische Gesellschaft решило для повторения своего уже упоминавшегося каталога, составление которого было начато в семидесятых годах прошлого века, использовать не меридианные наблюдения, а подобные фотографические пластинки.

Используя все эти разнообразные наблюдательные возможности, астрономы все же стремились к увеличению количества проходящего в телескоп света, т. е. к получению большего отверстия. Применение объективов диаметром больше одного метра оказалось невозможным,— здесь был достигнут предел. Поэтому в конце XIX в. опять вернулись к рефлекторам. Лучи не проходят через зеркало, а лишь отражаются от его поверхности, так что с обратной стороны это зеркало можно было установить на много точек, что предохраняло его от изменения формы при изгибании. Придав зеркалу строго параболическую форму, можно было лучи всех цветов собрать точно в одном фокусе. Правда, изображения при этом получаются несколько худшими и поле — меньше, но эта помеха не имела значения при исследовании отдельных звезд. Кроме того, можно было получить хорошие, резкие изображения на значительно большем поле, поместив на пути лучей между зеркалом и фотографической пластинкой изобретенную Россом стеклянную коррекционную пластинку определенной формы.

С начала XX в. стали строить все более и более крупные зеркальные телескопы. Широкое распространение получили инструменты с отверстием в 40 дюймов, т. е. в 1 *м*, а вскоре их превзошли телескопы в 60, 70 и 80 дюймов. Первое место среди них как по своим размерам и конструкции, так и по разнообразию и качеству выполненной работы занял построенный и установленный Ричи 100-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Вилсон, который вступил в строй в 1919 г. Накопленный при этом опыт позволил разработать план сооружения превосходящего все прежние инструменты 200-дюймового телескопа (с диаметром зеркала в 5 *м*). Историю постепенного осуществления этого замысла, сопровождавшегося преодолением множества возникавших то и дело новых трудностей, прежде чем телескоп был установлен на Маунт Паломар, можно читать как поэму о большой удаче современной науки и техники.

Современное развитие астрономических инструментов было бы невозможно без роста индустриальной техники XIX в. (она совершенно изменила также и вид общества). Точность, которая в прошлом веке достигалась только благодаря искусству способных конструкторов, строивших совершенные астрономические инструменты, теперь стала обязательным элементом для создания сложнейших механизмов современных гигантских телескопов. Здесь, как и в многочисленных индустриальных механизмах, тонкость обработки деталей сочеталась с огромными размерами. По существу точную форму поверхностей линз и зеркал приходилось теперь сохранять и контролировать до нескольких тысячных долей миллиметра, для чего техническая физика предоставляла множество современных вспомогательных средств. То, что тяжелые инструменты можно было привести в движение легким нажатием пальца, больше никого не удивляло. Теперь стальные и стеклянные массы весом в тысячи килограммов приводились в движение электромоторами. И астроном, едва заметный в небольшой кабине у фокуса телескопа, как настоящий мозг этого гигантского стального организма, управлял оттуда посредством контактных рычагов всеми его движениями. Точнейшая техника исполинских инструментов, управляемая при помощи электричества, составила материальную основу современной астрономии.

ГЛАВА 33

РАССТОЯНИЯ И РАЗМЕРЫ

Для того чтобы составить правильное представление о вселенной, необходимо знать основные расстояния и размеры. В конце XVIII в. решалась проблема хотя бы грубого определения расстояния до Солнца, т. е. размеров солнечной системы, и изучались размеры звездной системы, выражавшиеся при помощи параллакса Солнца. Однако размеры звездного мира, т. е. годичные параллаксы звезд не были еще известны.

Высокая точность измерений, которую внесла техника XIX в., поставила теперь новую первоочередную задачу, которую можно было бы назвать изучением геометрии мирового пространства. Здесь человек оказался перед той же самой геодезической задачей, когда с вершины холма или с небольшой башенной площадки требовалось определить расстояние до всех видимых вдалеке башен и других пунктов. Для этого надо было измерять параллаксы. Когда впервые удалось измерить параллаксы звезд с точностью до сотых долей секунды, оказалось возможным установить и строение звездного мира.

Девятнадцатый век начался с установления высокого стандарта, выразившегося в более тщательной обработке всего того лучшего и важнейшего наблюдательного материала, который был накоплен в прошлом веке. Подобно тому, как Бессель заново обработал брадлеевские определения звездных положений, Иоганн Франц Энке (1791—1865) сначала в Зееберге (Гота), а позднее в Берлине выполнил редукцию наблюдений прохождения Венеры для вывода солнечного параллакса. В то время в Готе науке оказывалось такое же покровительство, как литературе при соседнем с ней веймарском дворе. В 1788 г. в Зееберге герцог Готы Эрнст II основал обсерваторию, которая стала своего рода центром поднимающейся астрономии в Германии. В 1796 г. здесь собирался даже астрономический конгресс и был издан директором обсерватории Ф. Кс. фон Цахом первый астрономический журнал, носивший скромное название «Monatliche Correspondenz» («Ежемесячная переписка»). Здесь работал Энке (после 1813 г.),

наблюдая и проводя вычисления прохождений Венеры вплоть до 1825 г., когда его пригласили в Берлин для осуществления модернизации Берлинской обсерватории.

В его обработке наблюдений прохождения Венеры, опубликованной в 1822 и 1824 гг., был применен новый принцип математической трактовки явлений природы, разработанной ранее главным образом Гауссом. В предшествующие столетия астроном пытался выбрать из множества своих измерений лучшие. Это нередко служило поводом для пристрастного суждения о результатах или для подбора таких наблюдений, которые, несмотря на свою естественную неточность, сходились неестественно точным образом. В то время не замечали, что такая сходимость не обоснована. Вспоминается, как у Тихо сумма разностей прямых восхождений по всему небу давала в сумме отличие от 360° всего на несколько секунд, тогда как отдельные измерения отклонялись более чем на полминуты.

В XVII в. некоторые ученые, в частности Гюйгенс и Пикар, начали понимать, что усреднение множества однообразных измерений лучше, чем каждое отдельное из них, а в XVIII в. такой метод усреднения все более стал входить в употребление. Теперь уже мало-помалу представление о «вероятных» и «случайных» ошибках, как величинах, характеризующих измерения, стало более ясным. Идея «закона случая», применявшаяся к практическим вопросам уже Гюйгенсом («Расчет удачи в играх», 1657 г.), Яном де Виттом и Галлеем (в таблицах смертности), получила прекрасное теоретическое воплощение в теории ошибок Лапласа и Лагранжа и в законе ошибок Гаусса. Это дало вычислителям для обработки всего наблюдательного материала метод, отныне лишенный всякого произвола и соответствующий твердому правилу.

Теория ошибок внесла в отношение естествоиспытателя к своему материалу новую, типичную для конца XIX в. черту. Наблюдения не рассматривались больше как данные, из которых можно было выбрать желательный результат. Они в буквальном смысле слова стали процессом, в ходе которого выяснялось происхождение всех накладывающихся на наблюдения ошибок, фактическим свидетельством, с которым нельзя было не считаться. В разработанном в 1804 г. способе вычисления, так называемом «методе наименьших квадратов» Гаусс продемонстрировал образец своей работы *). В соответствии с требованием, что сумма квадратов оставшихся ошибок должна быть как можно меньше, находилось и «наиболее вероятное» значение неизвестной величины.

*) Независимо от Гаусса и раньше него этот метод разработал Лежандр. (*Прим. ред.*)

Применяя этот принцип к каждому неизвестному, можно было найти все неизвестные прямым решением уравнений. Этот новый способ вычисления встретил восторженный прием в мире астрономов, которые уже давно занимались вопросом о том, как из множества данных без произвола найти лучший результат. «Лучший» теперь определялся как «наиболее вероятный». Все колебания и сомнения отступили перед твердой определенностью, и оставшиеся в наблюдениях отклонения, т. е. «ошибки», при выводе «средних» и «вероятных» ошибок сами давали степень неточности результатов.

Этот метод, использовавшийся впоследствии во всех астрономических исследованиях, был применен Энке к наблюдениям прохождения Венеры. Эти наблюдения давали моменты вхождения и схождения. Если известны относительное положение центров Венеры и Солнца в двух координатах для среднего момента, а также скорость относительного смещения, то можно вычислить моменты вхождения и схождения, как они наблюдаются из центра Земли, и после учета влияния относительного параллакса получить моменты вхождения и схождения для пункта наблюдения. Расхождение между наблюденными и вычисленными моментами были вызваны не только ошибками наблюдения, но также ошибками в каждой из принятых координат (скорость была известна с удовлетворительной точностью) и ошибками в принятом параллаксе.

Любое наблюдение, выполненное на Земле, давало возможность установить зависимость между этими тремя величинами, и, таким образом, можно было все их использовать как материал при непосредственном выводе результата для каждого из трех неизвестных. Энке мог надеяться на то, что таким образом удастся получить несколько лучший основной результат, чем это давало вычислительное искусство XVIII в. Ведь теперь были установлены более точно разности долгот между многочисленными наблюдательными пунктами на дальнем востоке или дальнем западе (в Гудзоновом заливе, на Таити, в Оренбурге и Пекине) и Европой, куда возвращались все наблюдатели. Он получил результат, который (после внесения в 1835 г. еще одной поправки) оказался следующим: солнечный параллакс $\pi_{\odot} = 8'',57116 \pm \pm 0'',0371$.

Эта форма записи показывает, насколько в первый период применения нового метода вычисления астрономы упивались сознанием того, что теперь они могут получить точный результат вычисления. Ясно, что поскольку вероятная ошибка, стоящая после знака ±, составляет 0″,0371, т. е. что результат с равной вероятностью может быть как больше на 0″,037, так и меньше на 0″,037, то третий и четвертый десятичные знаки не только не имеют значения, но и просто бессмысленны, поскольку уже второй знак на единицу неточен. Современные ученые стали более разумно писать просто 8″,57 ± 0″,04. Оказалось, что и при этом действительная неточность еще недооценивается.

Все же теперь вместо всей неопределенности комбинаций оценок, сделанных в XVIII в., было установлено определенное значение параллакса, которое оставалось общепринятым в течение полувека. С известным радиусом Земли в 6377 *км* из этого солнечного параллакса было выведено расстояние до Солнца, точнее — величина большой полуоси земной орбиты в 153,5 млн. *км*. Оно было названо астрономической единицей; в таких единицах выражаются все расстояния и размеры в солнечной системе, все размеры планетных орбит[1]. Радиус Солнца оказался равным 714 000 *км*. Такая единица, как масса Солнца, выраженная в массах Земли, также связана с этой единицей. Формула Ньютона: отношение кубов больших полуосей орбит Земли и Луны (т. е. отношение кубов лунного и солнечного параллаксов), деленное на отношение квадратов периодов их обращений, дает отношение масс Солнца и Земли, равное 356 000.

Все это — лишь числа, состоящие из большего или меньшего количества цифр. Чтобы понять, что означают они для человечества, которое теперь стало осознавать обширность вселенной, следует взяться за популярную литературу, распространявшую около середины XIX в. естественнонаучные знания в широких массах. Здесь можно прочесть, что если бы в нас выстрелили из большой пушки, установленной на Солнце, то мы, не заметив этого, продолжали бы спокойно жить до тех пор, пока через 25 лет нас не сбило бы пушечное ядро. В общеизвестной в то время книжечке немецкого автора А. Бернштейна «Воображаемое путешествие по вселенной» о величине Солнца было дано наглядное представление при помощи одного лишь вычисления его огромного диаметра, а затем и объема, равного 3500 биллионов ($3,5 \times 10^{15}$) кубических миль (немецких)[2]. В главе «Все внимание кубической миле» предпринималась тщетная попытка забавным образом наполнить ящик в одну кубическую милю всеми городами и жителями Земли, а затем также тщетная попытка подсчитать число таких ящиков, на что потребовались бы многие миллионы лет. В противоположность этому восхищенному любованию большими числами Ф. Кайзер (Лейден), возродивший астрономию в Нидерландах и пользовавшийся успехом как популяризатор, серьезно предупреждал, что величие вселенной состоит не в ее огромных размерах, а в господствующих в ней порядке и закономерности.

В той же первой половине XIX в. возник вопрос о расстояниях до звезд. Еще в XVIII в. неоднократно предпринимались неудачные попытки измерить годичный параллакс звезды. Теперь же

Фраунгофер изготовил такие превосходные новые измерительные инструменты, дававшие недостижимую ранее точность, что с их помощью можно было надеяться на получение лучшего результата. Следовало прежде всего проверить наиболее близкие к нам звезды, т. е. те, у которых можно было ожидать большого параллакса. Бессель при обработке брадлеевских наблюдений обратил внимание на одну звезду пятой величины в Лебеде (названную 61 Лебедя), которая имела очень большое собственное движение (5″,2 в год), что служило указанием на ее большую близость. В 1837—1840 гг. Бессель измерил при помощи гелиометра ее расстояние от двух маленьких звездочек, удаленных от нее на 8′ и 12′.

Поскольку его измерения были весьма точными (средняя ошибка одного вечера составляла всего 0″,14), параллактический круг, который звезда описывала за год, обнаруживался весьма ясно. Величина параллакса сначала (в 1838 г.) была определена как 0″,37, а затем (в 1840 г.) как 0″,348. Таким образом, звезда находилась от нас на расстоянии в 590 000 астрономических единиц.

Решением этого же вопроса занимался и В. Струве в Дерпте (ныне Тарту) при помощи большого 24-сантиметрового фраунгоферова рефрактора, снабженного нитяным микрометром. Он выбрал звезду первой величины — Вегу (α Лиры), прежде всего из-за ее большого блеска, а кроме того, из-за заметного собственного движения (0″,35 в год) и положения, близкого к полюсу эклиптики, благодаря чему эта звезда должна была описывать круг, не сокращавшийся из-за проектирования. На основании своих измерений, проведенных в 1835—1838 гг. Струве вывел параллакс, равный 0″,26. В то же самое время директор Капской обсерватории Гендерсон и сменивший его на этом посту Маклир пытались измерить параллакс яркой звезды Южного неба α Центавра. Правда, они проводили свои измерения на обычном стенном круге для измерения полуденных высот (для склонений), поэтому не приходилось ожидать большой точности измерений. Однако эта звезда, имеющая большое собственное движение в 3″,7, оказалась двойной звездой, компоненты которой описывали за короткое время весьма большую орбиту; одни только размеры этой орбиты могли свидетельствовать о том, что звезда находится весьма близко к нам. И действительно, здесь был получен (1839—1840) еще больший параллакс 0″,91. Позднее более точные измерения изменили этот первоначальный результат на 0″,76. Но α Центавра все же остается самой близкой к нам звездой с самым большим параллаксом. Она находится от нас на расстоянии в 270 000 астрономических единиц.

Таким образом, задача, выдвинутая Коперником еще в древности, была решена, и расстояния до некоторых звезд были определены. «...Стена, мешавшая нашему проникновению в звездную вселенную, ... была пробита почти одновременно в трех местах. Это — величайший, наиболее славный триумф, который когда-либо переживала практическая астрономия» [3]. Так говорил Джон Гершель (сын Вильяма Гершеля) вручая Бесселю золотую медаль Королевского астрономического общества как его президент. И затем добавил, что ввиду множества заявлений о мнимом открытии звездных параллаксов в предшествующие годы, естественно, возникло некоторое недоверие к результатам, полученным Струве и Гендерсоном. Однако работа Бесселя, ясно показавшая правильное возрастание и убывание измерявшихся расстояний с периодом в один год, устранила последние сомнения относительно реальности найденного параллакса.

Конечно, эти достижения повлекли за собой попытки измерения параллаксов все большего числа звезд, особенно тех, которые быстро перемещались по небу или имели большой блеск. Однако теперь эти попытки не оправдывали надежд. Хотя результаты различных наблюдателей в каждом случае и опирались на детально и тщательно выполненные ряды измерений, они зачастую значительно различались для одной и той же звезды. Так, для звездочки седьмой величины в Большой Медведице, движущейся еще быстрее, чем звезда Бесселя, а именно, на 7″,07 в год (занесена в каталог Грумбриджа под номером 1830), Кенигсбергский гелиометр дал параллакс 0″,182, а нитяной микрометр большого телескопа Пулковской обсерватории 0″,034, т. е. в пять раз меньший. Для звезды 61 Лебедя Бессель после продолжительных измерений получил значение параллакса 0″,35, а Отто Струве из своих измерений вывел значительно большее значение 0″,51. Очевидно, измерения сильно искажались систематическими ошибками; об их источнике высказывались многочисленные, но неопределенные предположения. Возможно, здесь играли роль изменение температуры в течение года, различная видимость из-за атмосферной дисперсии и личные ошибки наведения на звезды, различающиеся по блеску (звезды сравнения обычно значительно слабее главных звезд). Таким образом, эти определения параллаксов явились серьезнейшей проверкой тщательности проведения измерений и исключения источников ошибок, которые могли установить наблюдатели. Гелиометр стал самым излюбленным инструментом. Давид Гилл (1843—1914) с 1870 г. сначала в Шотландии, а затем на Капской обсерватории (мыс Доброй Надежды) на своем собственном примере показал, сколь надежные измерения можно проводить на этом инструменте при хорошо разработанном методе обращения с ним. Гилл и его ассистент Элкин измерили сначала на мысе Доброй Надежды параллаксы многих звезд южного полушария, а затем Элкин продолжил эту

работу на Иельской обсерватории в Нью-Хэвене (штат Коннектикут) для множества звезд северного неба.

Так, мало-помалу были все же получены результаты для нескольких десятков звезд, позволявшие сделать общие заключения. Уже в сороковые годы XIX в. Петерс в Пулкове вывел средний параллакс звезд второй величины, равный 0″,017; для более слабых звезд его следовало соответственно уменьшить. Однако теперь становилось все яснее, как мало значит такое усреднение [при колоссальном различии в блеске]. Элкин измерил параллаксы многих звезд первой и второй величин. Наибольшим он оказался у α Центавра (0″,76). Параллакс Сириуса был равен 0″,38, Проциона 0″,32, Альтаира 0″,24, и, все более и более уменьшаясь, он дошел до 0″,028 у Бетельгейзе и 0″,008 у Ригеля. Последняя звезда кажется более яркой, чем α Центавра и, следовательно, должна находиться почти в 100 раз дальше. Таким образом, в действительности светимость Ригеля должна в 10 000 раз превосходить светимость α Центавра. В противоположность этому большие параллаксы получались и у очень слабых телескопических звезд (почти неотличимых от множества совершенно одинаковых звездочек), быстрое движение которых говорило об их большой близости. Таковы звезда Лаланд № 211885 седьмой величины с параллаксом 0″,40 и так называемая звезда Каптейна восьмой величины с параллаксом 0″,32, которая находится от нас на таком же расстоянии, как Процион, следовательно, ее светимость должна быть в 1000 раз слабее. Таким образом, одна звезда могла светить в миллионы раз ярче, чем другая.

В то время, как шло постепенное зондирование ближайших окрестностей звездного мира, в развитии наших знаний о фундаментальной основе этих измерений — астрономической единице (т. е. параллаксе Солнца) произошли драматические события. Ясному сознанию того, что результат Энке известен с точностью до $^1/_{200}$ его величины, около середины века был нанесен новый удар. В возмущениях, которые Солнце вызывает в движении Луны, имеется член, примерно равный 125″ (так называемое «параллактическое уравнение», уже упоминавшееся в гл. 30, зависящее от отношения размеров лунной и земной орбит). Ганзен в 1857 и 1863 гг. в своей теории Луны вывел значение параллакса Солнца, равное 8″,92. В то же время Леверье получил величину параллакса Солнца, равную 8″,95. В своих вычислениях он опирался на значение массы Земли, выведенное на основании тех возмущений, которые она вызывала в движении Венеры и Марса.

Иная критика исходила со стороны физиков. Первоначально скорость света выводилась на основании астрономических данных: постоянной аберрации (устанавливавшей отношение скорости света к скорости Земли) и скорости Земли. Значение постоянной аберрации, полученное на основании нового измерения Отто Струве, равно 20″,44, выведенные по данному Энке параллаксу Солнца скорость Земли и скорость света равны соответственно 30,56 *км/сек* и 308 000 *км/сек*. Однако теперь были предложены новые методы измерения скорости света путем непосредственного физического эксперимента. Сначала метод Физо при помощи зубчатого колеса (1849 г.), а затем (в 1862 г.) более точный метод Фуко — при помощи вращающегося зеркала. Эти физические измерения дали значительно меньшую величину — 298 000 *км/сек*. Возможно, что постоянная аберрации была на 0″,1 больше, т. е. ошибка могла составлять $^1/_{200}$; Фуко ясно понимал, что в таком случае и параллакс Солнца должен быть равен 8″,8, т. е. значительно превышать результат Энке.

Тогда снова обратились к старым ранее не вызывавшим доверия методам наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца и методу непосредственного измерения параллакса Марса при благоприятном противостоянии. Теперь надеялись получить лучшие результаты, чем раньше, так как точность наблюдений значительно возросла. Северные и южные обсерватории провели множество корреспондирующих измерений склонений Марса в момент его противостояния 1862 г. в перигелии. Предварительная обработка наблюдений дала значения параллакса Солнца, равные 8″,96 и 8″,93. Крепло убеждение в том, что истинное значение должно быть близко к 8″,90. Кроме того, Повалки в 1864 г. заново обработал наблюдения прохождения Венеры 1769 г. Поскольку этот ученый располагал бо́льшим количеством лучших определений долгот географических пунктов, чем Энке, и иначе истолковал некоторые наблюдения, он получил иной результат — 8″,83. Итак, результат Энке был совершенно отвергнут, и перед астрономическим миром вновь стал вопрос о том, где между значениями 8″,80 и 8″,90 следует искать параллакс Солнца.

Началась подготовка к наблюдениям следующих прохождений Венеры, которые должны были произойти 8 декабря 1874 г. и 6 декабря 1882 г. При этом астрономы не удовлетворились фиксированием нескольких моментов вступления и схождения планеты по методу Галлея. Ведь этот метод предназначался в прежние времена для примитивных инструментов, которые не позволяли делать точных измерений. Теперь цель наблюдений состояла в измерении положений Венеры на диске Солнца на протяжении всего явления от начала и до конца. В разные пункты Земли были посланы экспедиции.

Отправленные Германией 10 экспедиций были снабжены гелиометрами (лучшими инструментами для этой цели) и фотографическими телескопами для того, чтобы потом можно было измерить

положения Венеры на фотопластинках. На редукцию полученного материала был затрачен огромный труд. Работа германских экспедиций была опубликована только через 20 лет, в пяти объемистых томах in quarto. Подобную же работу проделали английские и американские экспедиции. Полученные результаты вызвали некоторое разочарование. Из английских наблюдений контактов были выведены следующие значения: 8″,76 (Эри), 8″,88 (Стоун) и 8″,81 (Тапмен). По американским фотографическим наблюдениям Тодд нашел 8″,88. Ауверс в 1874 г. из немецких гелиометрических наблюдений получил 8″,88 ± 0″,06, [из фотографических 8″,81 ± ± 0″,12, а из наблюдений 1882 г. 8″,88 ± 0″,04]. На недостаток внутренней сходимости указывало не только расхождение значений, полученных на основании различных методов, но и добавлявшиеся к этим расхождениям средние ошибки. Действительно, стало понятно, что при измерении положений объекта на фоне светящегося Солнца, когда лучи света проходят через нагретые и движущиеся слои воздуха, мы находимся в значительно более плохих условиях, чем тогда, когда тот же инструмент используется ночью для наблюдения звезд.

Между тем в 1877 г. снова наступило благоприятное противостояние Марса в перигелии. Давид Гилл отправился со своим гелиометром из Шотландии на остров Вознесения (вблизи экватора) для того, чтобы из положений Марса относительно окружающих его вечером на востоке и утром на западе звезд вывести параллакс этой планеты. В то время как для обнаружения эффекта параллакса в направлении с севера на юг необходимо сотрудничество северных и южных обсерваторий, действие параллакса в направлении с востока на запад можно было измерить независимо от других наблюдений.

Приведя изображения звезд точно в центр круглого диска Марса, Гилл смог установить относительное положение планеты с большой точностью. Его результат 8″,78 казался весьма заслуживающим доверия.

Раньше уже высказывалась идея (впервые Галле в 1872 г.) о том, что можно получить еще бо́льшую точность и вывести систематические ошибки, если вместо Марса воспользоваться точечным объектом, сходным с окружающими звездами. Для этой цели можно было воспользоваться малыми планетами, которые выглядят совершенно как звезды и в то же время, благодаря своему небольшому перигельному расстоянию, могут в противостоянии подходить очень близко к Земле. У планет Ириды, Виктории и Сафо кратчайшие расстояния составляли 0,83—0,84 а. е., т. е. значительно больше, чем 0,37 а. е. у Марса. Потери из-за увеличения расстояния надеялись возместить отсутствием систематических ошибок. Старательно подбирались звезды сравнения с одинаковым блеском, проводились гелиометрические и меридианные наблюдения малых планет и точно определялись их положения. Наблюдения 1888 и 1889 гг., в которых участвовало много северных и южных обсерваторий, оказались успешными. После тщательной обработки Гилл получил результат 8″,802.

Таким образом, теперь появилась определенная уверенность в том, что избранный путь был правильный, и истинное значение параллакса Солнца должно быть близким к 8″,80. Результаты экспедиций по наблюдению прохождения Венеры не смогли разрушить это убеждение, так как они вызывали серьезные сомнения. Полученный результат подтвердили также и данные физики. Майкельсон и Ньюком по методу Фуко определили скорость света в 299 860 ± 60 *км/сек*, т. е. с ошибкой не более чем в 1/5000. Для постоянной аберрации было найдено значение 20″,47, которое содержало ошибку не больше 0″,02. Полученный отсюда параллакс Солнца 8″,80 также не мог содержать ошибку больше 0″01.

Однако этот результат удалось еще улучшить. В 1898 г. Густав Витт из Берлина открыл малую планету № 433, названную позднее Эрос. Ее орбита располагалась не между Марсом и Юпитером (как у всех других астероидов), а из-за сильного эксцентриситета проникала внутрь орбиты Марса и в перигелии проходила вблизи Земли. Теперь уже можно было подсчитать, что в противостоянии 1900—1901 гг. Эрос подойдет к Земле на расстояние 0,27 а. е., а в противостоянии 1930—1931 гг.— на расстояние еще более близкое —0,17 а. е. Таким образом, благодаря этой счастливой случайности, малая планета Эрос наилучшим образом подходила для определения параллакса Солнца. Фотографические наблюдения Эроса в эпоху противостояния 1900—1901 гг. в обработке Хинкса совершенно определенно дали значение параллакса Солнца 8″,807 ± ± 0″,003, а визуальные микрометрические измерения 8″,806 ± ± 0″,004.

XX в. добавил к этому еще новые данные столь же высокой точности. На эклиптике звезды обнаруживают годичные периодические изменения лучевой скорости из-за того, что Земля поочередно то приближается к ним, то удаляется от них. В 1912 г. Хуг вывел из годичных изменений лучевых скоростей звезд, что Земля попеременно то приближается к ним, то снова удаляется. Скорость орбитального движения Земли он определил при помощи непосредственных спектрографических измерений, откуда был найден солнечный параллакс в 8″,802. По сильным возмущениям Эроса, вызванным притяжением Земли, Нотбум в 1921 г. вывел точное значение для массы Земли, и это дало параллакс Солнца в 8″,799. В 1924 г. Спенсер Джонс на Капской обсерватории по найденному им параллактическому уравнению Луны (125″,20) вывел параллакс Солнца в 8″,805. Де Ситтер (Лейден) в 1927 г. провел общее

исследование всех зависящих друг от друга астрономических констант и получил для параллакса Солнца результат 8″,803 ± 0″,001. Это, конечно, не говорило о том, что теперь гарантировался и третий десятичный знак. Впрочем, при еще более тщательной обработке обширного материала покрытий звезд Луной Спенсер Джонс получил в 1929 г. несколько иное параллактическое неравенство: 125″,02 ± 0″,033, а отсюда и другой параллакс Солнца: 8″,796 ± ± 0″,002.

В эпоху еще более благоприятного противостояния Эроса в 1930—1931 гг. 40 северных и южных обсерваторий объединили свои лучшие инструменты и лучшие силы для меридианных наблюдений, фотографирования и микрометрических измерений. Редукция заняла 10 лет, и только в 1942 г., во время войны, Спенсер Джонс, переехавший с мыса Доброй Надежды в Гринвич (в качестве королевского астронома), смог опубликовать результаты. Для параллакса Солнца было теперь найдено значение 8″,790 ± 0″,001. Принимая во внимание методы, обширность полученного наблюдательного материала, точность фотографирования и измерений, величайшие предосторожности в исключении всех источников ошибок, можно сказать, что в ближайшее время нечего и надеяться на получение такого же, или лучшего, более точного результата *).

Это не означает, что теперь астрономы освободились от всех дальнейших забот по определению параллакса Солнца. Поскольку этот новый, самый лучший результат отклонялся от прежнего лучшего результата больше, чем это можно было предположить, исходя из их систематических ошибок. Таким образом, основная трудность теперь заключалась в том, какой выбрать метод для исключения систематических ошибок. Эрос представляет собой не круглый шар, а удлиненную глыбу неправильной формы, возможно даже двойную. Для того чтобы устранить неравенства в его движении, приходится фотографировать эту планету строго одновременно в северном и южном полушариях. Таким образом, указание на то, что ошибка в определении параллакса Солнца составляет ±0″,001, не следует принимать буквально. Все же насколько меньше, чем раньше, стала неточность и насколько ближе теперь удалось подойти к истинному значению!

История определения параллакса Солнца является прекрасным примером того, о чем уже однажды говорилось: борьбы за следующие десятичные знаки. Известно, что обеспечение еще одного десятичного знака означает больший прогресс, чем десятикратное уменьшение возможных ошибок. К концу XVIII в. параллакс Солнца считался равным примерно 9″ с ошибкой в 1/3 его

*) Автор ошибся: радиолокационные способы, удачно примененные в США, СССР и Англии, дали результаты на два порядка более точные, чем классические методы. *(Прим. ред.)*

величины. После экспедиции XVIII в. по наблюдениям прохождения Венеры узнали, что это значение должно лежать примерно между 8″,5 и 9″, с ошибкой в несколько десятых долей секунды, т. е. в 1/30 величины. Во второй половине XIX в., после всех сомнений и неоднократного изменения взглядов, наконец удалось установить, что это значение должно быть близким к 8″,80, с неточностью в несколько сотых секунды, т. е. в 1/300 самой величины. Теперь же, после самых последних наблюдений Эроса, можно было также уверенно добавить и третий десятичный знак. Параллакс Солнце оказался известным с неопределенностью до 1/3000 своей величины, т. е. до нескольких тысячных секунды.

Для астрономической единицы, составляющей половину большой оси земной орбиты, было получено теперь из этого параллакса Солнца и радиуса Земли на экваторе (6378 *км*) значение в 149,7 млн. *км* (на 1/37 меньше, чем у Энке). Оно служило в качестве единицы не только для выражения всех расстояний в солнечной системе, но также и размеров небесных тел. Для этого следовало сначала измерить видимый диаметр в дуговой мере.

Накопление более точных знаний о размерах небесных тел началось с появления в Мюнхене более точных измерительных инструментов, так как нитяные микрометры нельзя было использовать из-за дифракции света планеты на нити. Таков был гелиометр, инструмент для измерения диаметров путем приведения в соприкосновение двух изображений светящегося диска. Первые приемлемые результаты при помощи этого метода получил Бессель. Позднее эту работу продолжили Джонсон и Мэн в Оксфорде, Кайзер в Лейдене (с более простым инструментом — микрометром с двойным изображением, но с наибольшей тщательностью) и Гартвиг в Бамберге. Кайзер получил значение радиуса Меркурия в 2380 *км*; по Гартвигу радиусы Венеры и Марса оказались равными соответственно 6372 *км* и 3370 *км*. Таким образом, вместе с Землей они составили внутреннюю группу [четырех] планет. У Юпитера и Сатурна по измерениям Кайзера радиус на экваторе составлял 70 550 *км* и 59 310 *км*, т. е. в 11 и в 9 раз больше земного. Из-за сильного сжатия (1 : 17,1 у Юпитера и 1 : 9,2 у Сатурна) полярный радиус этих планет был заметно меньше. При этом особым методом удалось измерить диаметр Солнца. Радиус Солнца оказался равным 696 400 *км*, что в 109,2 раза больше радиуса Земли.

Наряду с расстоянием до Солнца изучался и вопрос о расстояниях до звезд. В конце XIX в. определение положений звезд при помощи визуальных измерений с телескопом начало все больше и больше заменяться измерением фотопластинок. Для определения параллакса звезд также стали теперь получать фотографические снимки. При этом обнаружились заметные систематические ошибки. Однако вскоре было выяснено, что их появление

обусловлено самим фотографическим процессом. Обычно звезда, параллакс которой следует определить, бывает значительно ярче звезд сравнения. Последнее справедливо также и для четко очерченных дисков, видимых на пластинке. Теперь, если то или иное возмущение на мгновение несколько сместит изображение звезды на пластинке, то это из-за слабости света не повлияет на звезды сравнения. Однако у главной звезды боковое действие света будет достаточно сильным для того, чтобы вызвать осаждение серебра, и таким образом, центр изображения яркой звезды на пластинке сместится. Такое отклонение может, например, происходить тогда, когда фотографируемый участок неба находится у горизонта. Правда, астроном следит за изображением звезды в жестко связанный с камерой визуальный телескоп и с его помощью удерживает звезду в соответствующем положении на пластинке, исправляя его время от времени. Однако атмосферная рефракция иначе действует на фотографические лучи, чем на визуальные, в которых работает телескоп. Такое объяснение указало также и путь к уменьшению этого зла: следовало уменьшить разность в блеске звезд и, кроме того, получать пластинки только на одинаковых высотах, т. е. около меридиана. Пример этого показал Франк Шлезингер, который в 1903 г. при помощи 40-дюймового телескопа Йеркской обсерватории начал получать пластинки для определения параллакса, продолжив это дело с 1905 г. на большом фотографическом рефракторе обсерватории в Аллегени. Выравнивания блеска звезд он добивался, приводя в быстрое вращение экран, имеющий форму сектора круга, который располагался перед самой пластинкой с изображением главной звезды. При этом свет звезды мог попасть на пластинку только в те краткие мгновения, когда перед пластинкой не проходили экранирующие ее секторы. Секторы заранее открывались или закрывались соответствующим образом, чтобы размер изображения главной звезды на пластинке был равен среднему размеру изображений звезд сравнения. Кроме того, фотографирование проводилось симметрично относительно меридиана места, не более чем за час или через час после прохождения через него, причем применялся инструмент с большим фокусным расстоянием. Таким образом, Шлезингер получил совершенно точные и надежные результаты. Случайные ошибки параллаксов не превышали 0″,01, а при дальнейшей работе этот предел был еще более понижен.

Вскоре этому примеру последовали и другие. Работа продолжалась кооперативно на шести обсерваториях, оборудованных однотипными большими длиннофокусными телескопами (из них четыре американских), а также в Гринвиче и на мысе Доброй Надежды. Везде — по единому стандарту точности. Приведенное сравнение результатов для одной и той же звезды, полученных на

различных обсерваториях, показало, что величина расхождений была не больше, чем раньше. Их порядок теперь, как правило, не превышал нескольких сотых долей дуговой секунды. Правда, были обнаружены и небольшие систематические различия, при усреднении которых некоторые телескопы давали бо́льшие, а другие — меньшие значения. Однако эти различия составляли всего лишь несколько тысячных долей дуговой секунды, следовательно, они также соответствовали высокому уровню точности. Число надежно измеренных параллаксов в первые десятилетия XX в. возросло с десятков до сотен и, наконец, до тысяч. «Генеральный каталог» Шлезингера, вышедший в 1924 г., содержал 1870 звезд. Это число все время возрастало. Были измерены параллаксы всех ярких, хорошо видимых невооруженным глазом звезд, а также всех звезд, имеющих большое собственное движение. В качестве единицы измерения звездных расстояний вошел в употребление «парсек» — расстояние, соответствующее параллаксу в 1″; в популярной литературе использовался и «световой год», составляющий почти 1/3 парсека. Теперь можно было представить себе взаимное расположение звезд в окружающем нас пространстве в виде пространственной диаграммы. [Не следует, однако, думать, что теперь были определены точные расстояния до всех измеренных звезд.] Если найденный параллакс составлял 0″,01 с ошибкой также 0″,01, это означало, что параллакс, вероятно, заключается между 0 и 0″,02, т. е. что звезда удалена от нас более чем на 50 парсеков (причем неизвестно, насколько больше 50 *пс*). Получались также и отрицательные значения параллаксов. Это говорило о том, что из-за случайных ошибок небольшая положительная величина параллакса снижалась до нуля, или же свидетельствовало о том, что параллакс рассматриваемой звезды меньше незначительных параллаксов звезд сравнения. Хотя для таких звезд невозможно было дать индивидуальное расстояние, однако при обработке данных на основе статистических методов отрицательные параллаксы фигурировали наряду с положительными.

Таким образом, проблема параллаксов и расстояний до звезд также была решена. Выдвинутая первоначально для того, чтобы доказать истинность гелиоцентрической системы мира, она наряду с этим дала возможность оценить в первом приближении порядок величины расстояний между звездами. Когда была получена пара десятков надежных параллаксов, их можно было уже использовать для статистического изучения ближайших к нам звезд. Тысячи определений звездных параллаксов, которыми теперь располагает астрономия, составили основу для глубокого проникновения в строение и особенности звездного мира.

ГЛАВА 34

НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

В своем обширном труде «Mécanique céleste» («Небесная механика») Лаплас выдвинул программу исследований. Механика — наука о силах и движениях. Силы на основании закона всемирного тяготения определялись в зависимости от положений взаимодействующих тел. В математической формулировке вопрос сводился к следующему: вычислением при помощи интегрирования дифференциальных уравнений, выражающих зависимость между силой и положениями взаимодействующих тел, установить характер движений и вид орбиты. Размеры орбит и определенные константы должны были выводиться из наблюдений.

Астрономия стала теперь наукой, основанной на упорном вычислении. Наряду с непрерывными наблюдениями и измерениями в практическую астрономию вошли постоянные вычисления. Они заключались, с одной стороны, в теоретическом решении математических задач при помощи разработанного аппарата формул, в создание которого вложили свой ум и изобретательность самые выдающиеся математики. С другой стороны, это были численные расчеты, подробное практическое вычисление, сводящееся к бесконечным рядам таблиц и цифр. Астрономия была в то время единственной из естественных наук, в которой точные практические вычисления составляли основное занятие, содержание повседневной работы, и где, таким образом, методы практических вычислений тщательно развивались и постоянно улучшались. Наряду с астрономом, который при помощи телескопа наблюдал и измерял небесные тела, появился столь же необходимый тип астронома, занимавшегося небесными телами сидя за письменным столом, следившего за ними своим пером. Конечно, оба эти направления нередко совмещались и в одном лице.

Совершенно ясно, что работа началась с решения более простой задачи двух тел, т. е. с изучения орбит небесных тел, находящихся только под действием притяжения Солнца. Одной из частных проблем этой задачи было определение орбит комет. В XVIII в. орбиты комет вычисляли с большим трудом. После простейших указаний Ньютона этим вопросом занялись различные математики.

Лаплас также дал формулы, по которым при помощи соответствующего расчета можно было вывести из наблюдений параболическую орбиту. Все же эти вычисления были весьма трудоемкими и неудовлетворительными.

Однако еще до конца этого века практика привела астрономов, которые непосредственно этим занимались, к улучшению методов вычисления орбит комет. В 1797 г. Вильгельм Ольберс (1758—1840) опубликовал свою статью: «Ueber die leichteste und bequemste Methode die Bahn eines Cometen aus einigen Beobachtungen zuberechnen» («О наиболее легком и удобном методе вычисления орбиты кометы по нескольким наблюдениям»). Ольберс был врачом из Бремена, имевшим солидную практику, но одновременно также и астрономом-любителем. По ночам он наблюдал звезды и особенно кометы, определял их положения при помощи простого маленького телескопа и вычислял орбиты. Среди астрономов своего времени он считался первоклассным специалистом. Простоту нравов того времени наглядно характеризует то, что Ольберс пользовался изобретенным им методом вычисления уже добрый десяток лет, прежде чем под давлением своих друзей решился опубликовать его «на пользу другим». Метод Ольберса на протяжении всего XIX в. использовали сменявшие друг друга поколения астрономов, старых и молодых, которые внесли в него также и небольшие технические улучшения.

Однако он применялся больше к кометам с их параболическими орбитами. Уже давно обращал на себя внимание в планетной системе большой пробел между Марсом и Юпитером. Кеплер, зная об этом, разместил здесь свой четырехгранник. Этот пробел не укладывался в представление астрономов XVIII в. о происхождении планетной системы из первоначальной туманности. Он проявился еще более отчетливо, когда последовательность всех других орбит стали выражать в виде простой прогрессии рядов чисел, так называемого закона Тициуса или Боде — Тициуса. Тициус опубликовал свой закон в примечании к книге, которую он переводил. На этот закон никто не обращал внимания до тех пор, пока Боде случайно не обнаружил его и не опубликовал в 1772 г. От Меркурия до Урана размеры орбит выражаются в соответствии с этим законом следующими числами 4; $4 + 3 = 7$; $4 + 2 \times 3 = 10$; $4 + 4 \times 3 = 16$; ... до $4 + 64 \times 3 = 196$[1]. [Это давало 16 для Марса, 52 — для Юпитера, 100 — для Сатурна, 196 — для Урана], а 28 приходилось пропускать, так как на таком расстоянии не было известно никакой планеты.

Эту планету стали искать, и в первый день нового столетия, 1 января 1801 г. Пиацци в Палермо среди звезд, определением положений которых он занимался, открыл звезду седьмой величины, смещавшуюся день за днем примерно так, как и следовало

ожидать. Он объявил о своем открытии и назвал новую планету Церерой. Церера — богиня покровительница Сицилии. Однако сообщение об открытии задержалось, так как Италия была наводнена воюющими армиями. Когда о нем узнали другие астрономы, планета уже исчезла в солнечных лучах. Пиацци выполнил массу наблюдений, но не опубликовал их, потому что хотел сначала вывести из них орбиту. Он бился над решением этой задачи без особого успеха, так как в то время еще не был разработан метод вычисления орбиты по небольшой дуге в несколько градусов. Когда же при помощи найденной неполной орбиты было вычислено положение, где должна была находиться планета после периода невидимости, ее там не оказалось. Тщетно искали ее по соседству — она было потеряна. Тогда этим вопросом занялся молодой гениальный математик Карл Фридрих Гаусс (1777—1855) из Геттингена. Он разработал новый метод точного вычисления орбиты небесного тела по трем наблюдениям. Применение его к наблюдениям Пиацци дало хорошие результаты. К концу года Цереру удалось найти совсем на другом месте, чем предполагалось раньше.

Этот триумф искусно и правильно построенной теории обеспечил гауссову методу вычисления орбит особое положение, которое он сохранял на протяжении всего XIX в. Гаусс подробно изложил этот метод в своей вышедшей в 1809 г. «Theoria motus corporum caelestium» («Теории движения небесных тел»), представлявшей собой по форме и методу изложения наиболее совершенное руководство по теории движения для невозмущенных орбит. [В этом труде были выведены все следствия из ньютоновой теории.] Тогда как метод Ольберса основывался на предположении о том, что орбита является параболой, для которой следовало вычислять 5 элементов, метод Гаусса не выдвигал никаких предположений относительно формы орбиты. Эксцентриситет конического сечения определялся в качестве шестого элемента.

Вскоре этот метод нашел дальнейшее применение. Наблюдая Цереру, Ольберс в апреле 1802 г. открыл в той же области неба планету седьмой величины, у которой даже орбита была примерно такого же размера (но сильно наклоненная). Это планета получила название Паллада. К ней добавилась в 1804 г. открытая Гардингом планета Юнона и в 1807 г. открытая Ольберсом Веста. В каждом случае метод Гаусса уже после короткого периода наблюдений давал возможность вычислить элементы, с помощью которых положение любой из новых планет могло быть точно предвычислено.

Правда, это были планеты совершенно иного типа, чем известные до тех пор. Они оказались более чем в 1000 раз менее яркими, чем Марс и Юпитер, и такими маленькими, что выглядели в телескоп как звезды. Их стали называть «астероидами», «планетоидами» или же просто «малыми планетами». Все четыре планеты двигались по орбитам примерно одинаковой величины с большой полуосью от 2,3 до 2,8 а. е. и с периодом обращения от 3,6 до 4,6 лет. Следовательно, все они располагались между орбитами Марса и Юпитера.

В течение почти сорока лет новых малых планет не открывали. Так как сохранялось убеждение в том, что их должно быть больше, то для облегчения поисков Берлинская академия наук организовала составление «Берлинской звездной карты», содержавшей звезды зодиакальной зоны до девятой величины. Благодаря этому вспомогательному средству с 1845 г. начался непрерывный поток дальнейших открытий малых планет. В 1852 г. их было известно 20, а в 1870 г.— уже 110. [Малые планеты, открытые в начале XIX в., оказались самыми яркими.] Дальше последовали открытия все более слабых объектов, сначала девятой, а позднее десятой, одиннадцатой и двенадцатой величин. Естественно, что для исследования таких тел «Берлинская звездная карта» не годилась. Открывателям малых планет X. Г. Ф. Петерсу из Клинтона и Пализе из Вены приходилось составлять новые карты, содержавшие более слабые звезды. Эти карты публиковались. Затем Пализа упростил работу, использовав для составления карт фотографии с большой экспозицией, полученные Максом Вольфом из Гейдельберга. Эти снимки производились при помощи широкоугольного объектива, с них публиковались репродукции. Таким образом удалось к общему списку астероидов прибавить почти 100 новых.

Около 1891 г. Макс Вольф стал применять еще более простой и непосредственный метод открытия малых планет. Он проводил фотографирование в течение нескольких часов, причем телескоп точно следовал за звездами в их суточном движении. Все звезды отпечатывались на пластинке как маленькие черные точки, а малые планеты из-за своего смещения за несколько часов экспонирования получались в виде штрихов. Они сразу же бросались в глаза среди тысяч звезд, а их положение на пластинке для среднего момента времени экспозиции можно было точно измерить. Таким образом, Вольф быстро увеличивал число известных малых планет. К 1900 г. их было известно около 450, а один только Вольф (до 1927 г.) открыл их почти 500. Когда же его примеру последовали другие обсерватории, оборудованные такими же, как у него, или лучшими инструментами, число открываемых астероидов стало расти еще быстрее. Эти темпы еще более возросли, когда телескоп стал следить за малыми планетами, которые теперь отпечатывались в виде точек, тогда как звезды получались в виде штрихов. Так, в 1938 г. число известных малых планет дошло до 1500. Конечно, теперь открывались планеты все меньших размеров. Если четыре первых астероида были еще довольно большими не-

бесными телами, с диаметром в 600 или 800 *км*, то открытые позднее малые планеты не превосходили в поперечнике 50, 40 или 30 *км*.

Столь неожиданное возрастание числа малых планет ставило перед наблюдателями и вычислителями, а в особенности перед специалистами по теоретической астрономии все новые трудности. Сначала вся работа по определению орбит сводилась к трудоемкому вычислению. Метод Гаусса давал возможность достаточно быстро определить первоначальные орбиты по трем наблюдениям, выполненным только в первые дни открытия планет, а затем более точные на основании трех весьма удаленных друг от друга положений. Для предсказания положения в последующие годы с достаточной точностью требовалось вычисление вероятностной орбиты на основе большого числа наблюдений, охватывающих продолжительный период времени. Необходимо было длительное упорное исследование, которое к тому же никогда не кончалось, так как каждый следующий год и следующие противостояния приносили новые данные. Если этим все же пренебрегали, значительно возрастала возможность того, что планета была бы потеряна и что ее не удалось бы снова найти среди множества слабых звездочек. В результате возникали недоразумения. Время от времени поговаривали о том, чтобы не обращать внимания на всю эту мелкоту и прекратить их поиски. Где же предел? Здесь получалось то же, что и со всем развитием техники XIX в. в целом. Приходилось заниматься неустанной работой, которую нельзя было прервать ни на мгновение. В первые годы открытия малых планет молодых исследователей увлекал энтузиазм и прелесть самого астрономического вычисления. Однако когда число малых планет стало быстро возрастать, а сами они оказывались телами все меньших и меньших размеров, хотя все еще и получали названия, астероиды заметно утратили свою индивидуальность, и одного энтузиазма для их открытия стало недостаточно. Тогда эта работа стала все больше концентрироваться в вычислительных бюро, где были собраны средства для механизации вычислительных работ. Официальной обязанностью этих организаций была обработка все возрастающего потока открываемых планет, хотя и с десятикратно меньшей точностью. Берлинский вычислительный институт, позднее переведенный в Далем и переименованный в «Copernicus Institut», в последующие годы взял на себя заботу обо всем мире малых планет [2].

Но если бы можно было при этом ограничиться только вычислением их орбит! Беда заключалась в том, что все эти тела притягивались не только Солнцем, но также и большими планетами. Из-за возмущений их орбиты непрерывно изменялись. Возмущения были здесь больше, чем у первоначально открытых планет, во-первых, потому что они ближе подходили к Юпитеру, этому «великому нарушителю кругового движения» и, во-вторых, потому что многие орбиты имели большие эксцентриситеты и наклоны. Эллипс, полученный без учета этих возмущений, уже через несколько лет переставал совпадать с действительной орбитой, отклонения положений возрастали, и все вычисление становилось бесполезным. И все же не приходилось думать о том, чтобы для каждой малой планеты раз и навсегда вывести все возмущения обычным алгебраическим путем, указанным Лапласом для семи больших планет. В этом случае возмущения, представленные в виде тригонометрических рядов, имели быстро убывающие члены высшего порядка малости. У малых же планет приходилось учитывать так много членов, что для их вычисления понадобилась бы целая жизнь. Позднее, в 1856 г., Ганзен дал упрощенный приближенный метод, применив его к нескольким впервые открытым малым планетам. Однако астрономы, которые с самого начала занимались этой проблемой, Гаусс, Энке, Ольберс и Бессель, ясно сознавали, что вполне удовлетворительное ее решение может дать один только практический способ. Это был тот же самый метод, который применялся к кометам со времен Клеро: следить за движением планеты от точки к точке, с недели на неделю, от месяца к месяцу, непрерывно вычисляя возмущающие силы и выводя отсюда изменение движения, чтобы посмотреть, к чему оно приведет. Таким образом, эта работа никогда не прекращалась и в каждом следующем году занимала столько же времени, как и в предыдущем. Правда, этот метод, разработанный главным образом Энке и усовершенствованный другими вычислителями, был сведен к возможно более удобной и простой схеме. Все хорошие вычислители орбит первых десятков астероидов с большим упорством вычисляли возмущения и заложили прочную основу для дальнейших исследований. Однако с течением времени, после того, как число астероидов дошло до сотни, а позднее — до тысячи, при всем желании на эту работу уже не хватало терпения, и в вычислительных бюро были разработаны общие методы для быстрого приближенного расчета возмущений для групп однотипных орбит. При обсуждении противоречивых требований, предъявляемых к выполнявшейся работе, и при оценке достижимой точности была необходима не меньшая изобретательность, чем прежде для решения самих математических задач. Однако возник вопрос, стоит ли затрачивать труд на определение орбит всех этих блуждающих в пространстве небольших каменных обломков поперечником всего в несколько десятков километров.

Правда, этот труд приносил и вознаграждение в виде новой точки зрения, новых явлений и новых интересных задач, которые выдвигали малые планеты. Когда их число было еще едва ли достаточным для этого, в 1857 г. и снова в 1866 г. Кирквуд устано-

вил, что периоды обращения малых планет распределялись неравномерно относительно среднего значения 4,7 года. Отсутствовали орбиты с периодом 5,93 года и 3,95 года, составляющие точно $^1/_2$ и $^1/_3$ периода обращения Юпитера. При дальнейшем возрастании числа исследованных астероидов явление выступало все отчетливей. Теперь обнаружились также лакуны и при иных значениях: $^2/_5$ и $^3/_5$ периода обращения Юпитера. Должно быть, это вызывалось действием притяжения Юпитера, которое, очевидно, не допускало движения малых тел на таких расстояниях от Юпитера и выталкивало их отсюда. Столь неожиданное явление поставило новые вопросы перед небесной механикой.

В 1906 г. одна за другой были открыты четыре малые планеты (к которым впоследствии присоединилось еще несколько) с периодом обращения, равным примерно двенадцати годам, находящиеся на расстоянии пяти астрономических единиц от Солнца. Следовательно, эти астероиды двигались приблизительно по той же орбите, что и Юпитер, но при этом отстояли от него примерно на 60° по долготе, как вправо (в сторону меньших долгот), так и влево (в сторону бо̀льших долгот). Таким образом, они составляли с Юпитером и Солнцем равносторонний треугольник. Это был случай, который небесная механика давно предсказала. В предшествовавшем столетии Лагранж теоретически открыл существование таких «треугольных точек», как точек равновесия. Дальнейшие теоретические расчеты показали, что астероиды, участвующие вместе с Юпитером в равномерном орбитальном движении, могут совершать около этих точек колебания, так называемые «либрации», всегда сопровождая Юпитер на расстоянии примерно в 60°. Достопримечательные попутчики получили названия по именам Ахиллеса, Гектора, Патрокла, Нестора и других героев троянской войны и стали называться «троянцами».

Замечательными в другом отношении и более важными практически были некоторые астероиды, в перигелии заходившие внутрь орбиты Марса, а иногда близко подходившие к Земле. С одним из них, Эросом, мы уже познакомились как с прекрасным помощником при определении истинных размеров солнечной системы. По неправильным колебаниям его блеска удалось установить, что он имеет не круглую, а весьма неправильную форму.

Сколько же таких маленьких каменных обломков, должно быть, летает в пространстве! Однако мы видим только те из них, которые проходят совсем близко от Земли. В 1932 г. Дельпорт из Брюсселя открыл на своих пластинках объект, быстрое движение которого даже удалось проследить и определить его орбиту, правда, неточную. Объект подошел к Земле на 0,11 а. е., т. е. на 44 лунных расстояния. Вскоре после этого Рейнмут из Гейдельберга нашел на одной из своих пластинок след, оставленный малой плане-

той, которая прошла на расстоянии 0,06 а. е. от Земли. Чемпионом этих приближений к Земле было одно небесное тело, пролетевшее мимо нас 30 октября 1937 г. на расстоянии 0,004 а. е., в полтора раза меньшем, чем расстояние до Луны. Все эти тела были гораздо меньше обычных астероидов и имели в поперечнике не более нескольких километров. Следовательно, их можно было видеть только на очень малом расстоянии. Перед астрономами встал вопрос, при каких размерах эти осколки следует считать планетами, орбиты которых нужно вычислять? Перед человечеством встал и значительно более важный вопрос: что произойдет, если такое тело подойдет еще ближе к Земле или даже столкнется с ней? Масса такого обломка столь мала, что он не может заметно изменить движение Земли и Луны. Однако для континента, на который он стал бы падать, это было бы катастрофой, так как при внезапном столкновении вся кинетическая энергия тела перешла бы в тепло и произошел бы взрыв, в результате которого все тело превратилось бы в газ с температурой в тысячи градусов.

Подобные столкновения, хотя с меньшими телами и в значительно меньших масштабах, действительно случались и происходят и сейчас. В древних сообщениях говорилось о страшных камнях, которые падали с неба. Однако к концу XVIII в. подобные высказывания стали относить к области фантастики. Когда в 1790 г. во французской провинции Гасконь выпал каменный метеоритный дождь, Парижская академия наук отказалась составить об этом протокол, чтобы не поддерживать «суеверия, недостойного этого просвещенного времени». Однако немецкий физик Хладни прекрасно документированным исследованием показал, что метеоритные дожди происходили много раз. Это подтвердил последовавший вскоре новый такой «дождь», во время которого загорелась ферма. Метеориты стали теперь собирать и хранить в музеях. Кое-где они охраняются как овеянные легендами святыни. Происхождение большого кратера в Аризоне, диаметр которого превышает 1 *км*, стали объяснять ударом гигантского метеорита, упавшего в доисторические времена. 30 июня 1908 г. в Сибири упал метеорит, который полностью разрушил, к счастью, почти незаселенный район. Хотя падение метеорита вызвало возмущение в атмосфере и ее свечение было видно в Европе, причина этого явления оставалась неизвестной и была выяснена только через 10 лет научной экспедицией *).

После этого отступления к планетам и метеоритам вернемся к орбитам. Метод Гаусса был предназначен для определения орбит планет. Однако он, естественно, применим и к определению орбит любых других тел, движущихся по эллипсам и даже по параболам.

*) Первые научные экспедиции были организованы лишь в 1927—1930 гг. Л. А. Куликом. (*Прим. ред.*)

Таким образом, его вполне можно было применить к кометам. В первой половине XIX в. было открыто много комет, главным образом слабых, имевших вид небольших туманностей, для орбит которых парабола, как сразу же было выяснено, не подходила с достаточной точностью. Вычисления по методу Гаусса показали, что кометы движутся по орбитам, имеющим вид сильно вытянутых эллипсов небольших размеров и с коротким периодом обращения. Самая малая орбита была обнаружена у небольшой кометы, открытой в 1818 г. Понсом в Марселе, но названной, вопреки обычному правилу, кометой Энке, по имени вычислителя, который постоянно ею занимался и следил за ее движением. Комета имела период обращения в 3,3 года, и, как выяснилось впоследствии, ее уже наблюдали в 1786, 1795 и 1806 гг. Впервые со времен Галлея Энке предсказал возвращение кометы, каждое следующее появление которой затем много раз вычисляли, предсказывали и наблюдали. Расстояние кометы от Солнца изменялось между 0,34 и 4,08 а. е., следовательно, она не доходила до орбиты Юпитера. Для вычисления возмущений в распоряжении Энке не было другого средства, кроме прослеживания движения кометы шаг за шагом. Тщательное осуществление этих непрерывных вычислений принесло первый успех — удалось установить точное значение массы Меркурия, вблизи которого в 1835 г. прошла комета. Вторым было обнаружение замечательного явления, которое заключалось в том, что орбита кометы постепенно становилась меньше, а движение по ней — быстрее. Энке приписал это явление сопротивлению среды, которая заполняет пустое межпланетное пространство. Это сопротивление может сказаться на движении только таких разреженных и протяженных объектов, как кометы. У других комет это явление не обнаруживалось, и позднейшие вычислители, продолжившие работу Энке, сначала Баклунд, а затем Фон Астен, пришли к мнению, что комета Энке в определенных местах орбиты испытывает сопротивление своему движению из-за сближения с другими кометами.

В 1826 г. Биела открыл комету, наблюдавшуюся также в 1772 и 1805 гг. и имевшую период обращения в $6^3/_4$ года. К ней мы вернемся позднее. В течение XIX в. были открыты и другие кометы с коротким периодом обращения. Однако их число все еще оставалось ограниченным: десяток комет с периодом обращения в 5 или 6 лет и несколько комет с периодом в 13 лет и 33 года. В 1835 и 1910 гг. появлялась комета Галлея; ее тщательно наблюдали и уточняли ее орбиту. Открытая Ольберсом в 1815 г. небольшая комета имела период обращения того же порядка, около 72 лет, и в 1887 г. она появилась снова.

Оказалось, что деление комет на группы по периодам обращения связано с планетами. Наиболее удаленные точки орбит — афелии у комет с 6-летними периодами лежали вблизи орбиты Юпитера, у комет с периодами обращения в 13, 33 и 75 лет — вблизи орбит Сатурна, Урана и Нептуна. Уже Лаплас высказал мысль о том, что небольшая замкнутая орбита короткопериодической кометы с периодом в 5—6 лет может образоваться под действием притяжения Юпитера. Комета, движущаяся по параболе, может случайно пройти вблизи Юпитера, и сильное притяжение этой планеты полностью изменит ее путь, переведя комету на малую эллиптическую орбиту и сделав ее членом солнечной системы. Предполагалось, что при значительном сближении других групп комет с Сатурном, Ураном или Нептуном образуются орбиты с периодом в 13, 33 или 75 лет. Такие орбиты не всегда оставались окончательными. Если они не смещались под действием других возмущений, то комета должна была возвращаться к месту своей встречи с планетой и могла снова испытать сильное изменение орбиты. Так произошло с кометой, наблюдавшейся в 1770 г. Лексель (из Петербурга) вычислил ее эллиптическую орбиту с периодом в 5,6 года. Больше ее никогда не наблюдали. Согласно вычислениям Лекселя, подтвержденным и Буркхардом, комета начала двигаться по такой орбите в 1767 г., незадолго до своего появления вблизи Юпитера. Через два обращения она вернулась к той же самой точке в 1779 г., когда здесь снова был Юпитер. Он изменил орбиту кометы, которая навсегда исчезла из вида. Аналогичные случаи происходили и позднее.

Все эти вычисления орбит не являлись, собственно, главной задачей небесной механики, которая заключалась прежде всего в вычислении возмущений в движении больших планет и Луны. После того, как Лаплас завершил теоретическую работу XVIII в., на долю XIX в. осталась задача по углублению основ теории и достижению более высокой точности. Первая задача была решена такими искусными математиками, как Якоби (ок. 1830 г.) в Кенигсберге и Анри Пуанкаре (ок. 1880 г.) во Франции. Точным вычислением возмущений в движении планет много занимались способные теоретики первой половины XIX в., такие как Коши, Бессель и Ганзен. Наиболее современное и полное изложение теории этих возмущений было дано в работе Леверье.

Урбен Жан Леверье (1811—1877) прославился главным образом своим теоретическим открытием еще не известной в то время планеты Нептун при помощи одного только вычисления возмущений, которые она вносила своим притяжением в движение Урана. То, что особенности движения Урана нельзя объяснить притяжением известных планет, впервые заметил еще Алексис Бувар, сын крестьянина из Альп. Он пришел в Париж совершенствоваться в науке и благодаря своему таланту вычислителя стал незаменимым помощником Лапласа. Он вычислил таблицы для больших планет, но его таблицы для Урана, основанные на 40-летних систе-

матических наблюдениях, не могли представить прежние случайные наблюдения этой планеты. Когда после опубликования его таблиц в 1821 г. отклонения в движении Урана возросли еще больше, это убеждение постепенно стало всеобщим среди астрономов. В конце тридцатых годов Бессель поручил одному из своих учеников, Ф. В. Флемингу, важную работу: попытаться вычислить возмущения, вносимые неизвестной планетой. Однако Флеминг умер, едва успев за нее приняться. В 1842—1843 гг. за решение этой проблемы взялся Дж. К. Адамс (1819—1892), талантливый студент-математик из Кембриджа. В сентябре 1845 г. он сообщил результаты своих вычислений орбиты планеты-«виновницы» и ее положения на небе астрономам Эри (Гринвич) и Челлису (Кембридж). Однако из-за скромности самого Адамса и недоверия к его результатам обоих астрономов они не пытались искать планеты, а вычисления Адамса не были даже опубликованы. Между тем Леверье, подгоняемый Араго, также принялся за эту работу. Сначала он основательно пересмотрел теорию движения Урана и построил ее заново. Она была опубликована в ноябре 1845 г. В июне 1846 г. Леверье опубликовал результат вычисления орбиты возмущающей планеты и приблизительного ее положения на небе. Когда Эри и Челлис увидели его результат, хорошо совпадающий с вычислениями Адамса, Челлис начал искать предсказанную планету в июле и августе, регистрируя все звезды вблизи указанного места, для того чтобы убедиться, не изменяет ли одна из них свое положение. Затем, занятый другой работой, он не провел обработку и сравнение своих наблюдений, иначе он определенно открыл бы планету, потому что она была среди сфотографированных звезд.

Между тем Леверье, обеспокоенный тем, что наблюдатели не обратят внимания на его результаты, в письме к Галле (астроному Берлинской обсерватории) попросил его исследовать большим рефрактором звезды вблизи указанного места, чтобы посмотреть, не обнаружится ли у одной из них диск. Незадолго до этого Берлинская обсерватория получила карту неба этого района, присланную Берлинской академией наук. Получив письмо Леверье 23 сентября, Галле сразу же сравнил эту карту с небом, и планета была немедленно обаружена как неизвестное светило восьмой величины, не нанесенное на карту. Она получила название Нептун.

[Весь этот ход событий, естественно, повлек за собой весьма неприятную борьбу, и не между самими Адамсом и Леверье, которые стали друзьями на всю жизнь, а между их национальными «болельщиками». Все же представляется, что открытие Нептуна путем теоретического вычисления явилось результатом не исключительно личной гениальности, а вытекало из достигнутого наукой высокого уровня развития.] Это открытие произвело глубокое впечатление на мир естествоиспытателей и не меньшее — на массу

образованных людей. Из всех стран на Леверье хлынул поток почестей, и открытие за письменным столом неизвестного небесного тела, которое никогда и никто не видел, надолго стало предметом всех разговоров. Это было время, когда естествознание все более стало занимать господствующее положение в мировоззрении западноевропейской буржуазии и в ходе длительной борьбы с традиционными библейскими представлениями все более вытесняло их.

Наступление нового «Aufklärung» (просвещения) привело к распространению многочисленных научно-популярных книг; это движение находило восторженный прием среди интеллигенции и образованных людей как помощь в борьбе против устаревших политических идей и отживших общественных формаций. В такой обстановке это неожиданное доказательство могущества науки и правильности ее предсказаний, как яркий луч света усилило борьбу против тьмы. Конечно, правы астрономы, когда указывают, что любые сотни вычисленных возмущений используются в планетных таблицах (точность которых подтверждалась последующим наблюдением). Это было одно из убедительных доказательств истинности науки, число которых ежедневно росло. И все же это блестящее открытие, сделанное в атмосфере умонастроений тех лет, которые предшествовали революции 1848 г., явилось важным событием в истории науки.

Перед астрономами оно сразу же поставило новые проблемы и новые трудности. Прежде всего, конечно, трудности в решении обратной задачи: вывести не следствие из причины, а причину из следствия. Определение возмущающего тела по тем возмущениям, которые оно вызывает, было совершенно новым смелым предприятием. Другая трудность заключалась в ненадежности данных, полученных за короткий период систематических наблюдений Урана. Поскольку практически невозможно найти решение при большом числе неизвестных элементов гипотетической орбиты, то как Адамс, так и Леверье приняли (по закону Боде — Тициуса), что неизвестная планета находится от Солнца на среднем расстоянии 38 а. е., а соответствующий период ее обращения составляет 217 лет. Оба исследователя получили большой эксцентриситет около 0,10, который к 1820 г. сделал ее расстояние от Солнца равным 34 а. е. Таким образом им удалось представить старые наблюдения Урана до его открытия, за исключением наблюдений Флемстида в 1690 г. После того, как Нептун был открыт и наблюдался в течение нескольких месяцев, Адамс (а также Уокер в Вашингтоне) нашел, что орбита оказалась совершенно иной. Она была меньше, со средним расстоянием от Солнца, равным 30 а. е., периодом обращения в 164 года и очень малым эксцентриситетом. Следовательно, реальный Нептун должен был занимать совершенно иные положения в пространстве и подвергаться действию совер-

шенно иных сил Урана, чем теоретически вычисленная планета. Таким образом, американские вычислители Пирс и Уокер из Вашингтона пришли к твердому заключению: открытый Галле Нептун не был теоретически предсказанной планетой, и открытие его на указанном месте явилось лишь счастливой случайностью. Европейские астрономы, и прежде всего сам Леверье, горячо пытались опровергнуть эти сомнения. Они удовлетворились решением Пирса и Уокера, которые указывали на то, что, во-первых, притяжение реального Нептуна можно было полностью вывести также и из прежних наблюдений Урана. И затем, утверждали ученые, задача, которой занимались Адамс и Леверье, была одной из тех, которые допускают большое число решений, сильно отличающихся друг от друга, но соответствующих наблюдательным данным. Из-за предположения, что орбита планеты удалена от Солнца на 38 а. е., Адамс и Леверье дали одно решение, тогда как реальный Нептун представлял собой иное решение. Действительно, чертеж (рис. 52), на котором возмущающие движение Урана силы представлены стрелками, показывает, что эти силы были весьма значительными и представляли интерес только в период между 1790 и 1850 гг., и в эти годы реальный и вычисленный Нептун находились примерно в одном и том же направлении. Большой эксцентриситет и принятая немного большей масса компенсировали здесь неправильно принятые размеры орбиты, тогда как в XVIII в., когда положения очень сильно изменялись, возмущающая сила была ничтожной.

Однако в Европе это исследование американских ученых вызвало недовольство. Его рассматривали как нападки на честь открывателей, как упрямство и стали большей частью замалчивать. Лейденский астроном Кайзер, который с удивлением и осуждением констатировал это столь недостойное ученых поведение, писал, что астрономы Европы в открытии Нептуна «должны видеть не многим больше, чем вспомогательное средство для того, чтобы составить общее представление о высоком воодушевляющем совершенстве науки; они хотели видеть в этом открытии одно лишь совершенство их научных указаний, которые, как результат человеческого труда, все же никогда нельзя было учесть... Поэтому со всем этим боролись и отвергали все, что могло уничтожить любое сомнение в совпадении предвычисления с действительностью... Кажется, что в Европе человек не дерзал отваживаться на исследование, которое смогло бы определенно высказаться против излюбленного представления...» [3].

«В Северной Америке не объявляли это открытие чудесным, а энергичнее работали для того, чтобы использовать его на пользу науки» [4]. Это станет понятно, если учесть, что в Америке ожесточенная борьба за общественный прогресс против устаревших идей и институтов не была так необходима, как в Европе, где естество-

знание играло такую важную роль как основа новой духовной культуры.

Леверье, ставший директором Парижской обсерватории с 1853 г., посвятил себя исследованию возмущений в движении планет. Еще раньше он разработал весьма точную теорию движения

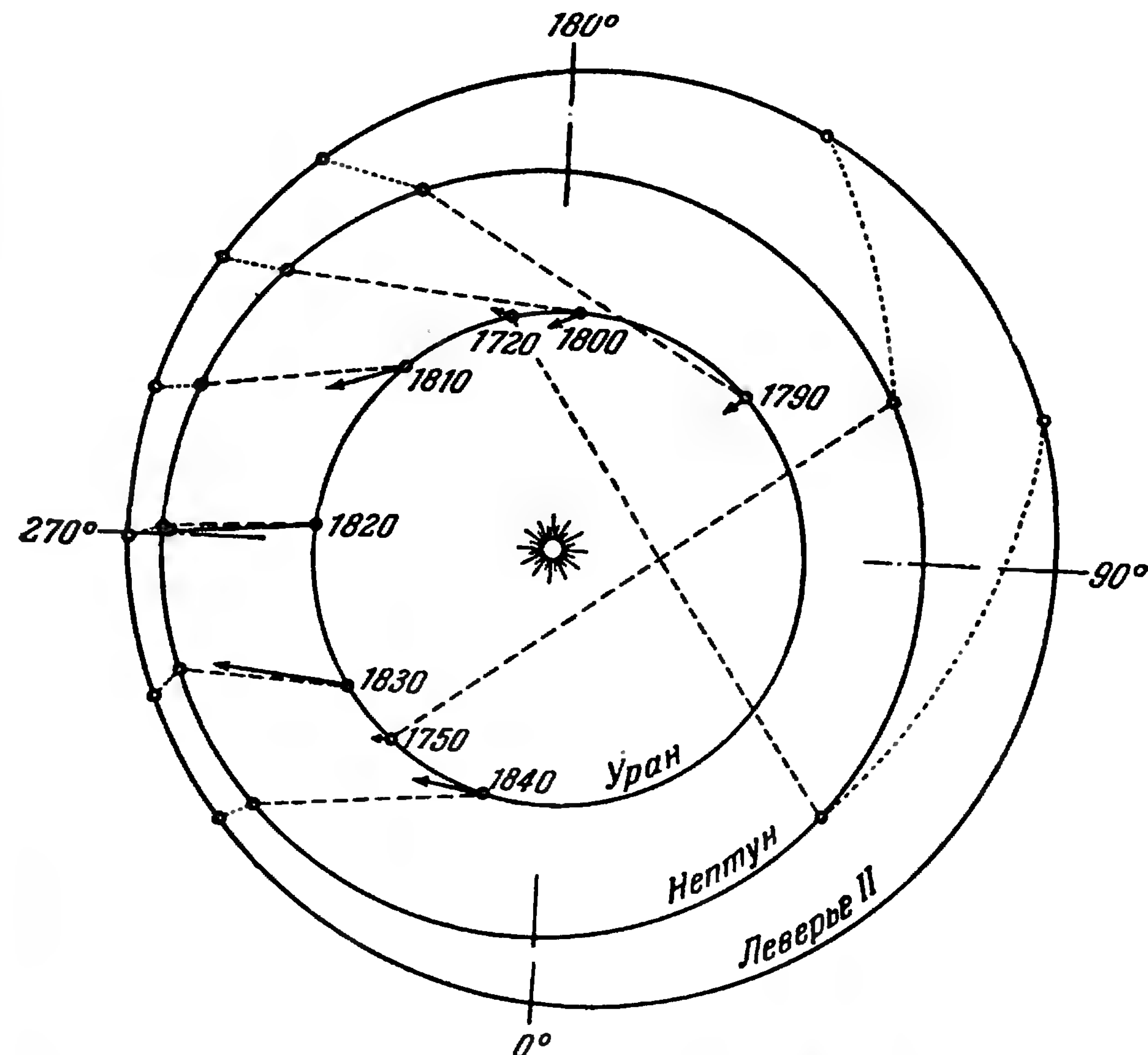


Рис. 52. Возмущающее действие Нептуна на Уран.

Меркурия, а через 10 лет после открытия Нептуна сведения обо всех больших планетах оказались в его распоряжении. Леверье выполнил приближение по новому методу значительно дальше, чем прежние вычислители. Это была сложная работа; так, ему пришлось вычислять множество членов высшего порядка малости. При этом он получил вычисленные таблицы такой точности, на которую раньше не смели и рассчитывать. Однако необходимо было для соблюдения гармонии совместить с таким возрастанием точности и массовость наблюдений. Если в начале XIX в. удовлетворялись совпадением до 10″ или 20″, то теперь точность была доведена до нескольких секунд, а иногда и меньше.

В результате всех этих исследований, заполнивших 14 томов Анналов Парижской обсерватории между 1855 и 1877 гг., Леверье смог установить почти полное совпадение между наблюдениями и теоретически вычисленными положениями планет. Осталось лишь несколько расхождений. Долгота перигелия Меркурия в соответствии с теорией должна была возрастать на 527″ за 100 лет, однако с большой точностью выполненные с 1631 г. наблюдения прохождений Меркурия через диск Солнца дали 565″, т. е. на 38″ больше. Точно так же узлы орбиты Венеры отступали назад [на 10″] медленнее, а долгота перигелия Марса возрастала на 24″ больше, чем требовалось по теории. Последнее, по сути дела, удалось объяснить, когда оказалось, что масса Земли, принятая на основании солнечного параллакса, данного Энке, была занижена примерно на $^1/_{10}$.

Однако отклонение у Меркурия нельзя было получить при каком-либо изменении массы. Для объяснения этого отклонения выдвигались различные предположения: неоткрытая планета или другая притягивающая материя, находящаяся внутри орбиты Меркурия, или же отклонение от закона Ньютона, при котором степень расстояния должна быть равна не точно двум, а на $^1/_{6\,000\,000}$ больше. И все же ни одно из этих объяснений не могло считаться удовлетворительным.

Когда Саймон Ньюком (1835—1909) в 1877 г. возглавил вычислительное бюро «American Nautical Almanac» («Американский морской ежегодник»), он уже занимался разработкой основы для эфемерид, составляя лучшие таблицы Солнца и планет. Ему, как искусному теоретику, удалось провести анализ всех членов более высокого порядка и полностью учесть их при вычислении, улучшив таким образом работу Леверье. Не менее искусный и на практике Ньюком свел все новые ряды наблюдений в Гринвиче, Париже, Вашингтоне и во многих других обсерваториях (лишь частично использованных Леверье) к одинаковым исходным пунктам, объединил их в компактные таблицы и использовал для лучшего определения элементов движения планет. Попытка объединить теоретические и практические исследования, потребовавшая затраты огромного труда, изобретательства, стала, наконец, пробным камнем для установления совпадения теории и практики.

Оказалось, что для четырех внутренних планет выведенные из наблюдений вековые вариации элементов орбиты весьма хорошо совпадали с теоретически выведенными значениями. Почти все отклонения были чуть меньше или больше, чем средние ошибки эмпирических результатов. Было всего несколько исключений, таких же, как у Леверье: наблюденное и вычисленное движение узлов Венеры составляло 1783″ и 1793″ в столетие, разность равнялась 10″ ± 3″. В движении перигелия Марса между результатом

наблюдения (1603″) и вычисления (1595″) оставалось еще небольшое различие в 8″ ± 4″. Смещение перигелия Меркурия составляло 575″ и 534″ с разностью в 41″ ±2″,1. В первом и втором случаях отклонения в положениях Венеры и Марса доходят только до 2″. У Меркурия отклонения в положении доходят до 8″, что значительно больше, чем можно было ожидать от усреднения множества хороших наблюдений. Таким образом, здесь, в столь основательном построении ньютонова закона всемирного тяготения, оставалось еще слабое место.

В то время и позднее предпринимались попытки к устранению этого противоречия с помощью различных искусственных объяснений. Следовало ожидать, как это часто бывает, появления совершенно иных аспектов, новых точек зрения. И это объяснение было дано в 1905 г. физиками на основании принципа относительности Эйнштейна.

Теория относительности исходила из идеи о том, что все движения относительны, а абсолютные движения невозможно наблюдать.

В 1914 г. Эйнштейн сформулировал общий принцип относительности: истинная форма выражения законов природы не должна зависеть от принятого для наблюдателя состояния движения. Закон всемирного тяготения не соответствовал этому требованию, потому что при выводе его Ньютон исходил из предположения об абсолютном пространстве и абсолютном времени. Для того чтобы привести закон Ньютона в соответствие с принципом относительности, следовало заменить его формулу формулой обобщенного притяжения. [Различие между ними было так мало̀, что становилось заметным только при самых быстрых относительных движениях. Некоторым указанием на важность новой формулы было смещение перигелия орбиты Меркурия на 43″ в столетие.] Таким образом, единственное оставшееся здесь серьезное расхождение между теорией и наблюдением было объяснено естественным образом, без принятия новых гипотез.

Вторым следствием из теории относительности было то, что лучи света, проходя мимо тел большой массы, отклоняются от прямолинейного пути, подобно частицам, движущимся со скоростью света. На краю Солнца величина этого отклонения достигала 1″,75, как было установлено по фотографиям поля звезд, окружавших Солнце в момент полной фазы солнечного затмения 1918 г. Такой результат был получен двумя английскими экспедициями, а позднее — подтвержден и другими. Экспериментальная проверка подтвердила несомненную реальность теории относительности, а следовательно, также и ее объяснение движения перигелия Меркурия.

Так, теория планет, особенно теория движения Земли, отражавшегося в видимом движении Солнца, привела к практическим следствиям для всей астрономии. Весьма существенной для практической жизни и деятельности задачей небесной механики была и теория Луны. В XVIII в. было получено, что формулы и таблицы Лапласа давали положения Луны с ошибкой не более половины дуговой минуты.

Это весьма значительно превышало ошибки наблюдений; следовательно, теорию было необходимо развивать дальше. Лаплас включал члены до третьего порядка в эксцентриситете и наклонности. Парижская академия назначила в 1820 г. премию за составление таблиц Луны, полностью основанных на теории. В ответ Плана дал теорию нового вида, а Дамуазо, развивая теорию Лапласа, добавил члены вплоть до седьмого порядка и достиг точности в несколько секунд дуги, что было еще недостаточно для современных требований.

Большое число этих членов, сложность и запутанность их взаимного влияния сильно затягивали и усложняли разработку теории. Много искуснейших математиков пытались решить вопрос каждый раз на основании нового теоретического подхода. В 1838 г. П. А. Ганзен (1795—1874) из Готы начал свою работу о движении Луны, которой он занимался 20 лет. Его целью было представить с точностью до одной дуговой секунды полные ряды меридианных наблюдений Луны, выполненных в Гринвиче с 1750 г. почти за 100 лет. В 1857 г. его лунные таблицы были опубликованы Британским адмиралтейством и в течение более чем полувека служили основой для составления ежегодников и альманахов. В 1862—1864 гг. Ганзен прибавил к таблицам изложение теоретических основ и всех использованных данных. Совершенно иным путем Ш. Делоне из Парижа развил теорию Луны, опубликовав результаты в 1860 и 1867 гг. Также отличным от этих обоих методов способом Ньюком на основании особого исследования смог сравнить результаты Ганзена и Делоне относительно величин каждого из членов. Совпадение результатов оказалось удивительным. Можно было сказать, что теперь теория дает недвусмысленный ответ на вопрос о движении Луны.

Правда, оставалось еще несколько слабых мест. Поступательное смещение долготы перигея, составлявшее примерно 40° в год, вносило основные трудности в XVIII в. (у Клеро). Делоне посредством утомительных вычислений до членов восьмого порядка удалось достичь точности, равной $^1/_{8000}$, что приводило к недопустимым по величине ошибкам, достигающим 18″ ежегодно. После этого Георг В. Гилл, вычислитель американского «Nautical Almanac», который по словам С. Ньюкома, был «вероятно, величайшим из живущих мастером в высшей и наиболее сложной отрасли астрономии, завоевавшим своей стране всемирную известность в науке и получавшим вознаграждение государственного служащего» [5], гениальным способом разрешил эту трудную проблему в 1877 г., воспользовавшись совершенно новым принципом. Вместо того чтобы исходить из обобщенной орбиты для задачи двух тел, т. е. эллипса со случайным эксцентриситетом, и затем добавлять к нему возмущения, вносимые Солнцем, Гилл начал с упрощенной орбиты для задачи трех тел.

Этот способ настолько лучше соответствовал внутреннему характеру задачи, что Гиллу при помощи краткого численного подсчета всего с несколькими членами удалось достигнуть точности до $^1/_{100\,000\,000\,000}$ величины. Улучшилось ли от этого согласие с наблюдением? Такая постановка вопроса неправильна. В дополнение к солнечному притяжению перигей Луны смещается из-за сплюснутости Земли, причем степень этого смещения зависит от плотности распределения масс внутри Земли. Если от полученного на основании наблюдений значения отнять вычисленный «солнечный эффект», то в остатке получим эффект сжатия Земли. Результирующее сжатие представляет собой механическое сжатие (т. е. разность моментов инерции), а не геометрическое сжатие внешней формы. Его можно использовать для вывода распределения масс внутри Земли. На основе теории Гилла Эрнст В. Браун построил впоследствии лунные таблицы, которые с 1922 г. стали основой для составления альманахов, заменив собой таблицы Ганзена.

Второй пункт касался векового ускорения Луны. Лаплас нашел, что эта величина по теории и затмениям, наблюдавшимся в древности, совпадала, составляя примерно 10″ в столетие. Ганзен также вычислял ускорение Луны и получил его равным теоретически 11″,47, а эмпирически — 12″,18. Однако в 1853 г. Адамс в результате более подробных расчетов с включением членов более высокого порядка получил значительно меньший результат, а именно 5″,70. Хотя сначала это значение оспаривали, потому что прежнее значение хорошо совпадало с наблюдениями, вычисления, проведенные Делоне, Плана и известным математиком Кайле, наконец подтвердили его. Ганзен также признал истинность этого значения. Таким образом, бо́льшая величина наблюдаемого ускорения должна была вызываться еще и другими причинами.

Их стали искать в приливном трении. Из-за вращения Земли возникает высокая приливная волна. Взаимное притяжение гребня волны и Луны замедляет вращение Земли и подталкивает вперед Луну, увеличивая угловой момент ее вращения. Это последнее явление вызывает растягивание орбиты Земли и замедление орбитального движения этой планеты, которое выражается в увеличении суток по мере возникновения ускорения. [Однако как сильно

может действовать приливное трение?] Как известно, в 1909 г. Чемберлин (геолог из Чикаго) пришел к заключению, что трение приливной волны о морское дно и океанские побережья слишком мало, чтобы вызвать такой эффект. Таким образом, и этот выход из положения оказался отрезанным. В 1919 г. Тейлор показал, что повсюду в неглубоких внутренних морях с сильными приливами энергия приливного трения тратится на вращение Земли и Луны. На основании грубого подсчета Ирландское море могло дать $1/_{56}$ необходимого убывания. Как было найдено впоследствии, Берингово море давало более половины необходимой величины, тогда как доля океана в этом замедлении была мала. Конечно, невозможно вычислить точную величину замедления, вносимую всеми морями на Земле. Поэтому значение, принятое Ганзеном, следует считать эмпирическим, а не выведенным на основании теории. Все же теоретически полную величину приливного трения получить невозможно, и в любом случае оказывается, что полученное Ганзеном вековое ускорение следует рассматривать не как теоретически вычисленное, а как эмпирически определенное значение.

Оказалось, что в полученных в Гринвиче долготах Луны (после того, как все другие возмущения были учтены при вычислении) осталась еще одна медленная флуктуация в несколько десятков секунд, причину которой Ганзен искал в возмущении планеты Венеры, с периодом в 240 лет и величиной до 21″. Делоне смог найти для этой флуктуации лишь ничтожную величину, меньше 1″. Все же Ганзен принял ее, потому что он был убежден в том, что в соответствии с требованиями наблюдений теория должна наконец их объяснить. Теперь, однако, этот член стал эмпирическим членом, [необходимым для того, чтобы согласовать измерения и теорию. В период времени до 1750 г. казалось, что тогда еще несовершенные наблюдения не позволяли добиться согласия с теорией]. Еще хуже было то, что с 1860 г., когда таблицы Ганзена были включены в альманахи, сама Луна постепенно начала отклоняться от них. В шестидесятые годы отставание относительно таблиц составляло всего несколько дуговых секунд. В 1880 г. оно стало уже равным 10″, а с каждым следующим десятилетием возрастало еще больше. Тогда Ньюком в 1878 г. взял это дело в свои руки. Для того чтобы получить все данные и проконтролировать меридианные наблюдения, он редуцировал и тщательно обработал все старые наблюдения покрытий звезд и затмений (с момента изобретения телескопов), собранные им из архивов всех обсерваторий во время его поездки по Европе в 1871 г. Теперь он мог надлежащим образом представить весь этот материал, вводя в него несколько иной эмпирический член: отклонение на 17″ за 273 года. Однако по-прежнему надо было искать объяснение, и тогда не

ожидали, что это расхождение удастся устранить в последующие годы. В третьем томе своего классического учебника «Traité de mécanique céleste» («Трактат по небесной механике», 1894 г.) Тиссеран также высказал свое мнение о лунной теории в следующих словах: «Итак, теорию Луны задерживает только что изложенная здесь трудность... она, так же как и новое затруднение, должна быть преодолена, но великое открытие еще предстоит сделать» [8].

Решение действительно было найдено, но совершенно в иной, неожиданной области. Причина отклонений заключалась не в теории, не в Луне, не в силе притяжения, а в неравномерности осевого вращения Земли. Ньюком подошел к этой идее всего лишь на одно мгновение, но все же в своей последней работе о Луне, в 1903 г., отбросил эту идею, как невероятную и нереальную. Эти изменения должны были отражаться в наблюдавшихся таким же образом неравенствах всех других быстро движущихся небесных тел. В 1914 г. Браун нашел, что в движении Солнца, Венеры и Меркурия входят те же самые колебания, что и в движении Луны, лишь значительно меньшие по величине. Это подтвердилось подробным исследованием Спенсера Джонса из Гринвича (1926 и 1939 гг.). Тогда В. де-Ситтер (1872—1934) из Лейдена исследовал движение спутников Юпитера и при этом дал полную теорию возмущений в системе Юпитера, где он в 1927 г. нашел те же самые неравенства. Следовательно, Луна не была виновницей их появления. Эмпирический член Ганзена и Ньюкома теперь можно было устранить. Вместо него в период осевого вращения вошли более или менее внезапные скачки. Около 1667 г. этот период удлинился на 0,0011 секунды в сутки; около 1758 г.— укоротился на 0,0006, около 1784 г.— на 0,0017, в 1864 г.— на 0,0027 (это вносило в таблицы Ганзена большие отклонения). Удлинение суток на 0,0017 секунды наблюдалось в 1876 г., на 0,0034 — в 1897 г., а в 1917 г. сутки сократились на 0,003 секунды.

Равномерность скорости вращения и неизменное положение оси Земли в теле планеты,— все они не устояли при тщательном исследовании. Бóльшее приближение к истине существенно помогло развить астрономическую картину мира, имеющую простое, гармоничное строение.

Однако большая точность измерений XIX в. оказалась более естественной, она также весьма незначительно отклонялась от действительности. Теоретическая механика в руках Эйлера дала обоснование того факта, что ось вращения лишь в исключительном случае сохраняет неизменное положение во вращающемся теле. В 1885 г. С. К. Чендлер в ряде широтных определений в Кембридже (штат Массачусетс) обнаружил изменения широты на 0″,4 в полгода, которые не удалось объяснить какой-либо ошибкой, так что «единственной альтернативой оказалось заключе-

ние, что широта действительно должна изменяться. В то время это заключение казалось слишком смелым для того, чтобы официально о нем сообщить...» [7]. То же самое произошло с рядом весьма точных наблюдений, проведенных в Вашингтоне в 1862—1867 гг. Наблюдатели не могли найти ни единой ошибки, но не решались объяснить периодические отклонения реальными изменениями широты. В 1888 г. Ф. Кюстнер опубликовал результаты точных измерений, которые он проводил в Берлине в 1884—1885 гг. для определения постоянной аберрации. Он объяснил обнаруженные при этом расхождения реальными изменениями широты. Для того чтобы проверить правильность такого объяснения, в Гонолулу — пункт, расположенный по другую сторону северного полюса, был отправлен второй наблюдатель. Так было установлено, что полюс движется, описывая кривую диаметром в несколько метров вокруг некоторого среднего положения. Эйлер в свое время вычислил, что движение полюса по такой кривой должно завершаться за 305 суток. Бесплодные поиски изменений широты с таким периодом мешали открытию истинных колебаний полюса. Период таких колебаний оказался равным 430 дням, и Ньюком вскоре дал объяснение этому явлению. Оно состояло в том, что воды океана перемещались под действием центробежной силы, замедляя смещение оси.

Рассмотрение сезонных смещений водяных масс между арктическими и антарктическими областями с учетом таяния и замерзания воды, как причины годичных колебаний полюса свидетельствует о том, что в целом причиной таких колебаний должны быть и другие смещения масс внутри Земли. Так как полный момент количества движения постоянен, ускорение вращения связано с сжатием, а замедление — с расширением тела Земли. К этому следует добавить, что восстановление распределения масс в соответствии с наблюдаемой картиной требует с геологической точки зрения переноса огромных количеств вещества.

Теперь с лунными эфемеридами в альманахах создалось серьезное положение. Не говоря уже о том, что движение Луны невозможно было точно вычислить на основании теории. В используемый астрономами счет времени вошли теперь совершенно не поддающиеся вычислению изменения вращения Земли, зависящие от неизвестных геологических причин. Они стали отражаться на положениях Луны в определенный момент времени. Таким образом, не следовало ли признать вообще недостижимым великий идеал составления необходимых для мореплавания совершенных лунных таблиц, над которым в течение многих столетий работали способные теоретики и наблюдатели и который казался достижимым?

Навигация не нуждалась больше в Луне. Теперь извечный вопрос о долготе на море был решен совершенно иным путем, при помощи радиосигналов [8]. Со времени созванного в 1913 г. международного конгресса большие радиостанции стали регулярно посылать в эфир телеграфные сигналы времени. Каждый корабль в океане мог в эти часы получить точное всемирное время и сравнить его со своим местным временем. Проблема долготы на море явилась историческим эпизодом, ныне завершившимся. Однако он имел большое значение в истории науки. Проблема долготы на море в значительной мере стимулировала развитие небесной механики, этой отрасли теоретического знания человечества, которая привела нас к открытию тонких деталей в новых явлениях на нашей собственной Земле. Возможно, что они станут исходным пунктом для нового геофизического исследования.

ГЛАВА 35

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ МИРОВ

Скрытой движущей силой исследования астрономов и особенно интереса к астрономии у широких кругов любителей было желание узнать что-либо о других мирах: не живут ли там другие люди. То, что для античных авторов было лишь игрой фантазии, со времен Коперника и Бруно стало серьезным, хотя и нерешительно высказываемым мнением о возможности жизни разумных существ на Луне и других планетах. Теперь изучение планет, их поверхности и физических условий приобрело более глубокий скрытый смысл.

Поскольку телескопы были еще несовершенны, это изучение было по необходимости примитивным[1]. В конце XVIII в. ревностный любитель астрономии Шретер,— служащий из Лилиенталя, вблизи Бремена, при помощи своего зеркального телескопа сделал сотни зарисовок лунных гор и деталей на поверхности планет. Однако эти рисунки были еще очень грубы. Более высокий уровень был достигнут, когда вошли в употребление мюнхенские телескопы, которые своими прекрасными четкими изображениями и простотой в обращении открыли новые пути для исследования планет.

Представление о том, что Луна должна быть обитаема, полностью совпадало с рационалистическим способом мышления XVIII в. В одной из первых статей, представленных Вильямом Гершелем Королевскому обществу, было высказано предположение о существовании обитателей Луны. Однако по совету Маскелайна он взял назад это высказывание, как недостаточно обоснованное. Позднее Груитуйзен из Мюнхена снова поднял этот вопрос, заявив, что в 1816 г. он видел на Луне облака и полагал, что узнал в некоторых лунных формациях укрепления и другие построенные людьми сооружения. Однако подобного рода фантазии вскоре все же прекратились. В 1834 г. Бессель установил, что найденный по покрытиям звезд диаметр Луны почти не отличался от полученного прямыми измерениями, т. е. что лучи света от звезды, проходя вблизи лунного края, не отклонялись рефракцией. Это означало, что горизонтальная рефракция, которая в земной атмосфере составляет 2000″, на Луне не может превышать нескольких секунд[2]. Следовательно, атмосфера Луны должна быть по крайней мере в 2000 раз более разреженной, чем земная. Этого было недостаточно для дыхания людей или животных.

Почему у Луны нет заметной атмосферы? Если она отделилась от Земли, то почему она не унесла с собой воздух? Могла ли она иметь его, а позднее потерять? Объяснение такой утраты атмосферы удалось дать только после возникновения кинетической теории газов. В 1870 г. Джонстон Стоней показал, что небольшой процент молекул газа, имеющих скорости, намного превосходящие средние, может рассеяться в мировом пространстве, так что притягивающее тело постепенно может полностью лишиться атмосферы. У Земли скорость убегания составляет 11 *км/сек*, у Луны 2,4 *км/сек*, а при 0° С средняя скорость молекулы водорода равна 1,6 *км/сек*, водяных паров 0,53 *км/сек* и кислорода 0,4 *км/сек*. Отсутствие водорода в земной атмосфере доказывает, что когда средняя скорость молекул составляет уже $^1/_7$ скорости убегания, она достаточно велика для того, чтобы газ мог улетучиться. Наличие водяного пара в земной атмосфере доказывает, что средняя скорость молекул, составляющая для него всего $^1/_{21}$ скорости убегания, довольно мала для того, чтобы Земля его утратила. Эта теория позднее была еще усовершенствована Джинсом, Милном и другими. В применении к Луне она означает, что весь водяной пар и весь кислород на Луне должны были рассеяться.

Перед астрономами стояла задача составить подробную карту Луны. Увлекательная работа — рассматривать столь удаленные иные миры и изучать их поверхность! Уже в небольшой телескоп видно такое множество мелких деталей, что для их полной зарисовки потребовался бы терпеливый и самоотверженный труд в течение многих лет. Первым, в 1824 г., начал эту работу Лорман, землемер по профессии. Вместо того, чтобы делать отдельные рисунки, как Шретер, он сводил весь наблюдательный материал в топографические карты, где горы изображались как на географических картах. Он опубликовал несколько карт. Но из-за болезни глаз не закончил работу. В 1828 г. берлинский банкир Вильгельм Беер и молодой астроном И. Г. Мэдлер начали совместное изучение Луны на только что построенной маленькой обсерватории с небольшим мюнхенским телескопом в 4 дюйма (108 *мм*). Так же, как это делал раньше Тобиас Майер, но теперь в значительно бóльших масштабах, они сначала ввели сеть точно измеренных пунктов в качестве топографической основы. Микрометром определялись положения примерно сотни хорошо отождествленных первичных пунктов и гораздо большего числа — вторичных. Кроме того, были измерены высоты тысяч гор по длине их теней. Беер и Мэдлер составили основу топографической карты, которая на четырех листах изображала всю поверхность Луны в виде круга

диаметром в 1 метр. Эта работа, продолжавшаяся 8 лет и охватывавшая в общей сложности 600 ночей наблюдений, была опубликована в 1836 г. За весь этот восьмилетний период они не заметили на Луне ни изменений горных образований, ни каких-либо явлений атмосферного характера. Поверхность Луны оставалась неподвижной и твердой с черными как смоль, резко очерченными тенями,— мертвый мир скал и горных пород [3].

Лунный атлас Беера и Мэдлера, значительно более полный и детальный, чем какая-либо из прежних карт, содержал все же не более того, что было видно в маленький телескоп. Таким образом, в следующие десятилетия многим астрономам и любителям пришлось заняться тем, чтобы с большими телескопами зарисовать более тонкие детали и нанести их на карты. Только Юлиус Шмидт (1825—1884), который вел наблюдения с небольшим телескопом, но в прекрасных климатических условиях Афин, достиг хороших результатов. Его зарисовки Луны были достаточно полными для составления большой лунной карты с диаметром в 2 *м*, которая была опубликована в 1878 г. В Англии Нейсон издал в 1876 г. книгу о Луне с пространными описаниями и множеством подробных карт.

При этом сразу же были заложены серьезные основы для решения вопроса о том, происходят ли на Луне какие-либо изменения. В 1866 г. сам Ю. Шмидт заметил, что небольшой кратер Линней, наблюдавшийся и зарисованный ранее Лорманом, Беером и Мэдлером и им самим, теперь исчез, а на его месте появилось беловатое пятно или весьма неглубокая впадина. Время от времени стали появляться и другие, более сомнительные сообщения об изменениях на поверхности Луны, вызывавшие многочисленные возражения, потому что не удавалось точно решить, насколько были достоверны такие детали на старых рисунках. Отсутствие объекта на прежних картах никогда не могло служить строгим доказательством происшедших изменений.

Применение фотографии к изучению столь богатого деталями небесного тела, как Луна, привело к значительному прогрессу. Одна фотография, запечатлевавшая сразу весь диск, заменяла собой многие сотни зарисовок, т. е. экономила многие месяцы и годы работы наблюдателя. Кроме того, фотография имела преимущества достоверного документа. Первое хорошее фотографическое изображение Луны с телескопом получил в 1850 г. В. К. Бонд, директор Гарвардской обсерватории в Кембридже (штат Массачусетс). Вскоре фотографированием Луны занялсяВаррен Деларю [4] (Англия), который с 1852 г. работал с рефлектором, оснащенным в 1857 г. часовым механизмов. Он получал изображения Луны диаметром в 28 *мм*, настолько отчетливые, что они выдерживали 20-кратное увеличение. В США Генри Дрэпер с помощью рефлектора, зеркало которого было им собственноручно отшлифовано, получал в 1863 г. изображения Луны диаметром в 32 *мм*, которые ему удалось увеличить до 90 *см*. Все это была лишь подготовительная работа, которая немного прибавила к тому, что было уже известно. Значительным прогрессом явилось изобретение в 1871 г. сухих бромо-желатиновых пластинок, которые сократили время экспозиции до нескольких секунд. Это время можно было сократить потому, что изображение Луны получалось прямо в фокальной плоскости объектива, без всякого увеличения, которое сильно ослабляло яркость изображения.

Научный прогресс был, таким образом, возможен только при использовании весьма длиннофокусных телескопов, которые могли давать достаточно большое увеличение. Так, большой 36-дюймовый телескоп Ликской обсерватории с фокусным расстоянием в 14,5 метра давал изображение Луны диаметром в 14 *см*. Парижский экваториал системы кудэ регулярно применялся Леви и Пюизо после 1894 г. для получения изображения Луны диаметром в 18 *см*. Отдельные части негативов репродуцировались в увеличенном масштабе, так, что диаметр Луны достигал 1 *м* (ликские снимки) или 2,6 *м* (парижские снимки), а затем издавались в виде атласов. При этом увеличение доходило до предела, когда зерна серебра становились заметными и замывали более тонкие детали. Эти детали удалось снять позднее на 40-дюймовом рефракторе Йеркской обсерватории и на 100-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Вилсон. Однако количество снимков было ограниченным, оно не охватывало все фазы Луны.

Такие фотографические атласы отличались от прежних, визуальных, потому что, по сути дела, они давали лишь непосредственный вид со всеми тенями, а не топографическую карту, в которой астроном объединял множество результатов, полученных в различных фазах. Таким образом, чтобы составить полное представление о каком-либо ландшафте, необходима не одна карта, а целая серия фотографий, полученных в различных фазах. Кроме того, оказалось (см. на рис. 53 окрестности кратера Гигинус в изображении различных исследователей), что фотография не может передать массу тонких деталей фона, известных по тщательным визуальным наблюдениям, выполненным с меньшими телескопами. Такими, например были наблюдения Ф. Фаута, любителя из Ландштуля, который с 1895 г. опубликовал много карт отдельных участков лунной поверхности. Вследствие этого от визуальных наблюдений в целом не отказались. Многие астрономы-любители, имевшие небольшие хорошие телескопы (с отверстием не более 10 или 15 *см*), регулярно занимались изучением деталей особо выбранных лунных ландшафтов, и прежде всего для проверки происходящих здесь незначительных изменений. Несмотря на этот

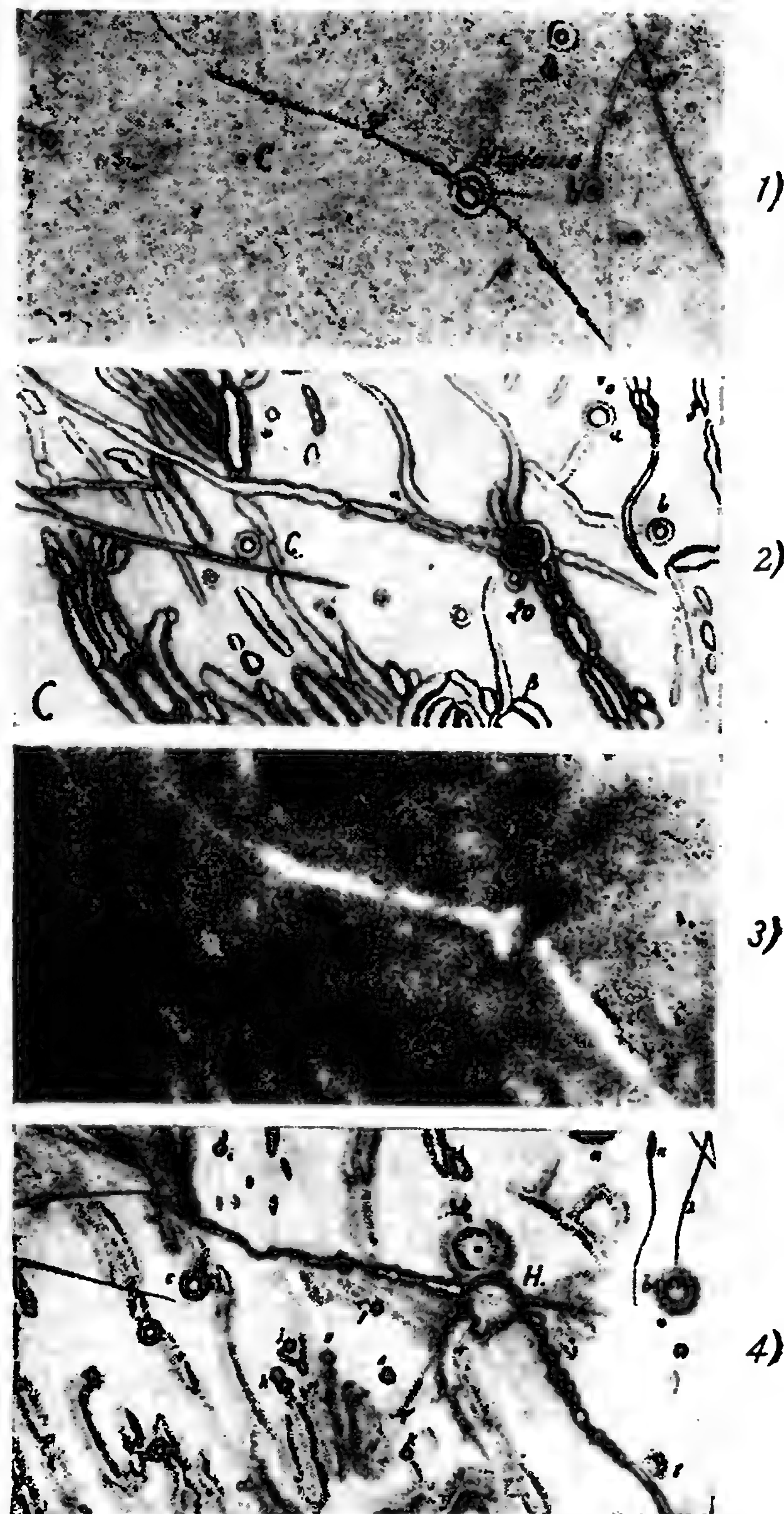


Рис. 53. Кратер Гигинус и его окрестности. Зарисовки: 1) Беера и Мэдлера, 2) Шмидта, 3) Парижской обсерватории и 4) Фаута.

недостаток, фотография, конечно, сохраняла свое документальное значение. Наблюдатели пользовались теперь фотоснимками как основой для своей визуальной работы, главной целью которой было обнаружение и исследование мельчайших изменений. Так работали Кригер (карты 1898—1912 гг.) и Гудакр (1910 г.).

Таким образом, развитие лунной топографии в XIX в. выдвинуло два вопроса. Первый: действительно ли поверхность Луны тверда и неизменна или на ней что-нибудь происходит? Выражаясь точнее: какова степень реальности обнаруживаемых время от времени небольших изменений устойчивого в основных чертах изображения? Это можно было установить только при детальном изучении вопроса объединенными усилиями многих наблюдателей, используя главным образом визуальные данные. Последействие геологических сил на Луне, вероятно, могло вызвать возникновение или исчезновение небольших кратеров, углублений или холмов. Позднее В. Г. Пикеринг сообщил о том, что вокруг небольших кратеров он наблюдал узкую полосу тумана или следы облаков и снегоподобные пятна, которые росли и уменьшались в зависимости от количества надавших на них солнечных лучей. Эти явления Пикеринг объяснял испарением водяных паров, выделявшихся в незначительном количестве из трещин в почве. Он также обращал особое внимание на темные участки, наблюдавшиеся внутри некоторых кольцевых гор в полнолуние, когда они не давали тени. Пикеринг описывал это явление как потемнение некоторых участков поверхности, которые затем снова светлеют. Фотографии подтвердили общий характер изменений, но из-за грубой зернистости пластинок не удалось проверить тонкие детали. Для объяснения этого явления Пикеринг предполагал, что на Луне существуют примитивные формы жизни, скапливающиеся в одном месте наподобие низшей растительности, завершающей период своего развития (роста и увядания) за один 14-суточный день, и питающиеся двуокисью углерода, выделяющегося из трещин в скалах. Пикеринг считал возможным объяснить это явление и самостоятельно движущимся скоплением представителей примитивной органической жизни. «Мы находим здесь следующий за нашим мир живых существ, жизнь которых совершенно отлична от чего-либо подобного на нашей планете» [5]. К такому заключению Пикеринг пришел в 1921 г.

Второй проблемой того времени была проблема возникновения твердой поверхности Луны со всеми ее удивительными образованиями: большими кольцевыми горами, кратерами, трещинами, горными массивами и более темными равнинами, так называемыми «морями». Это был геологический или, вернее, «селенологический» вопрос. Оставалось неясным, почему действие геологических сил на Луне породило совершенно иные образования, чем на Земле.

Ответ стали искать в двух различных направлениях. В 1873 г., в одной книге о Луне, Проктор высказал идею о том, что лунные кратеры возникли при ударе о поверхность планеты больших метеорных тел. При этих ударах тонкая твердая кора проламывалась и изливавшиеся оттуда потоки лавы образовали круговые стены (кратеры). На Земле же эффект столкновений подобного рода сильно ослабляется тормозящим действием сопротивления воздуха, а их следы подвергаются затем климатическим и геологическим воздействиям. Эта идея впоследствии была подхвачена известным географом Куртом Вегенером. Наиболее широко все же было распространено мнение о том, что поверхность Луны сформировалась под действием ее внутренних сил. В дополнение к парижским снимкам Луны Пюизо дал в 1896 г. подробную теорию происхождения различных лунных формаций. В этой теории, так же как и в объяснениях, приведенных физиком Эбертом, в качестве первичных определяющих сил выступало приливное действие Земли. Из-за различия масс Земли и Луны приливное действие Земли на Луну было гораздо сильнее того, которое Луна вызывала в теле Земли. Это могло объяснить, почему в обоих случаях эффект столь различен.

С тех пор, как в XIX в. спал интерес к Луне, оказавшейся необитаемой, всеобщее внимание обратилось прежде всего к планете Марс, которая в этом отношении имела наибольшие шансы. Однако изучение поверхности этой планеты связано с гораздо большими трудностями, чем изучение Луны, так как в самом благоприятном противостоянии в перигелии диаметр диска Марса составляет всего 26″ (1″ соответствует 260 *км*). К концу XVIII в. на Марсе в зеркальные телескопы Гершеля и Шретера удавалось наблюдать, помимо резко очерченных белых полярных пятен, лишь неясные, едва различимые тени, изредка принимавшие отчетливые очертания. Их по большей части рассматривали как туманы и облака. Мюнхенские телескопы с лучшей оптикой произвели переворот в этой области. Осенью 1830 г., во время благоприятного противостояния, Беер и Мэдлер начали делать зарисовки Марса на своем 4-дюймовом телескопе. При этом впервые были обнаружены четко ограниченные темные пятна. Трудности этой работы видны из их высказывания: «Обычно требуется некоторое время для того, чтобы разрешить первоначально наблюдавшиеся неопределенные туманные массы на ясно различимые формы»[6]. Однако из-за того, что они всегда сохраняли свои очертания, было ясно, что эти объекты представляют собой устойчивые топографические образования на поверхности планеты, а не проходящие над ней облака. В результате работы Беера и Мэдлера впервые появилась карта двух полушарий Марса. Для того чтобы получить хорошую карту северного полушария, потребовалось проводить

наблюдения при последовательных противостояниях с 1832 по 1839 г. Поскольку в афелии диск Марса кажется очень маленьким, для его наблюдений стали с 1835 г. использовать 9-дюймовый телескоп Берлинской обсерватории. При сравнении прежних зарисовок планеты с более поздними была выведена продолжительность ее обращения вокруг оси, равная $24^h37^m23^s,7$.

Во время следующих противостояний многие наблюдатели делали зарисовки Марса (рис. 54) и публиковали их. Нередко отмечавшиеся значительные изменения вида планеты показывают, как трудно было точно различить и изобразить эти пятна и какое проявлялось при этом разнообразие в личной манере изображения. Наблюдения, выполненные во время противостояния 1862 г., внесли много существенно нового в наши знания о поверхности планеты по сравнению с тем, что было известно Бееру и Мэдлеру. Рисунки Локьера (Англия) и Кайзера (Лейден) (сведенные затем в глобус Марса), выполненные на 6-дюймовом телескопе, показали больше деталей. С 1858 г. Секки в Риме на 9-дюймовом рефракторе делал зарисовки в красках, показав тонкие оттенки зеленого цвета в более темных участках и желтого в светлых областях. Кайзер уже смог изображенные на старых рисунках Гука и Гюйгенса (1666 г. и 1667 г.) пятна отождествить с современными и вывести отсюда период обращения Марса в $24^h37^m22^s,6$ с точностью до $0^s,1$.

Эти новые наблюдения показали, что хотя топография поверхности планеты и остается неизменной, все же случаются небольшие изменения деталей. Иногда детали замываются дымкой, похожей на облака, темные пятна светлеют или светлые пятна темнеют. Наблюдаются также небольшие изменения формы пятен и границ, которые частично приписывались изменению направления луча зрения. Наблюдатели в общем согласились называть желтые или красноватого оттенка участки Марса сушей или пустыней, а более темные, зеленоватого оттенка области — морями. Различия в изменении зеленого цвета принимали за указания на то, что вода там неглубока, или ее место занимает растительность. Далее предполагалось, что сезонно изменяющиеся по величине полярные пятна состоят из снега и льда. Таким образом, условия жизни на Марсе не так уж сильно отличались от земных: несколько более низкая температура, более разреженная и сухая атмосфера, значительно меньше воды; все это воспринималось как более поздняя стадия планетной эволюции.

Противостояние в перигелии 1877 г. внесло новый прогресс. Оно явилось сюрпризом благодаря открытию так называемых «каналов» Марса Дж. В. Скиапарелли (1835—1919), работавшим в Милане на мюнхенском телескопе с отверстием в 22 *см*. Он определенно поднял ареографию на более высокий уровень, измерив

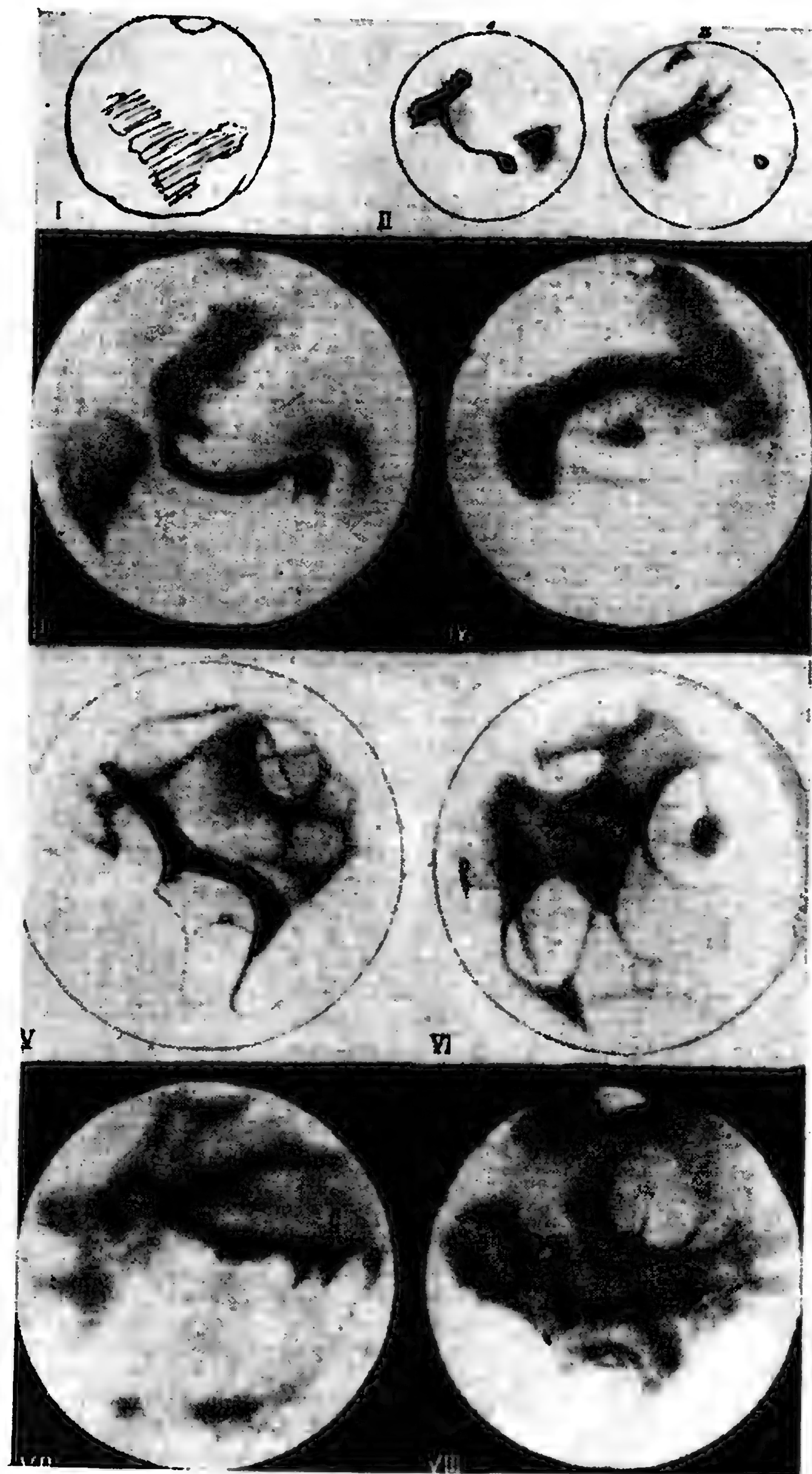


Рис. 54. Зарисовки Марса: *I* — Гюйгенс, *II* — Беер и Мэдлер, *III, IV* — Кайзер, *V, VI* — Скиапарелли, *VII, VIII* — Антониади.

при помощи микрометра положения шестидесяти двух хорошо отождествленных пунктов. После этого Скиапарелли точно установил направление оси вращения Марса, определив микрометром положение малого белого пятна на южном полюсе. Он заметил длинные тонкие полосы, более темные и прямые, которые пересекали всю желтую северную половину планеты. Скиапарелли назвал их «каналами», не пытаясь утверждать, что они наполнены водой. Масштаб, в котором получалось изображение планеты, был так мал, что «каналы», наблюдавшиеся в виде тончайших линий, должны были иметь ширину нескольких километров, а некоторые из них, еще более широкие, имели значительно большие размеры.

Наблюдения и измерения 1879 года были продолжены, подтверждены и расширены при последующих противостояниях. В 1881 г. было обнаружено новое явление — раздвоение каналов. С этих пор результаты Скиапарелли стали объектом непрерывных дискуссий, сомнений и критики со стороны его коллег. Теперь они также стали наносить на свои рисунки, хотя и не без колебаний, некоторые каналы. В то время как существование прямых каналов не казалось невозможным, нельзя представить себе естественную причину их раздвоения. Таким образом, вопрос об обитаемости планеты превратился теперь из фантастического представления в практическую задачу. Есть ли на Марсе разумные существа и можно ли их разум считать создателем наблюдаемых нами искусственных сооружений и причиной, объясняющей происходящие на Марсе явления? В этом случае даже само раздвоение каналов могло быть объяснено потребностями разумных существ в области судоходства или ирригации. Однако к раздвоению каналов все еще относились весьма скептически. Перротен из Ниццы со своим ассистентом Толлоном были единственными, кому удалось наблюдать это явление в 1886 г. на большом 38-сантиметровом рефракторе. Но все же вызывает некоторое удивление то, что эти наблюдения сначала целую неделю ничего не говорили о раздвоении каналов, а позднее дали изображения, которые по своему характеру были очень похожи на рисунки Скиапарелли. Таким образом, встал вопрос: в какой степени предубеждение может влиять на определение очертаний объектов, находящихся на пределе видимости? Не могло ли здесь играть роль физиологическое действие непредвиденного слабого астигматизма глаза? Несмотря на критику, Скиапарелли твердо придерживался мнения об объективной реальности открытых им образований. В 1892 г. он опубликовал в немецком журнале «Himmel und Erde» общий обзор своих результатов исследования Марса, приложив к нему цветную карту обоих полушарий, содержавшую так много деталей, что одно это давало полное представление о значительном прогрессе знаний о соседней

с нами планете. Однако дополнительная карта со всеми раздвоенными каналами опять вызвала у читателя сомнения относительно их реальности и значения.

Как раз в это время на Ликской обсерватории был установлен гигантский 36-дюймовый телескоп. Вполне понятно, что вскоре, в 1888 г., ликские астрономы Холден и Килер направили его на Марс, надеясь при помощи этого мощного инструмента разрешить возникшие сомнения. Однако их надежда не оправдалась, и не только потому, что они не увидели резко очерченных каналов и их раздвоения, но потому, что их зарисовки оказались такими грубыми и убогими, как будто они были сделаны в прошлом веке. Утверждалось, что большие инструменты не только не превосходят малые в изучении поверхностей планет, но и уступают им. Это было видно при сравнении рисунков Беера и Мэдлера, Локьера и Кайзера с рисунками Гершеля, Шретера и лорда Росса. Слабые различия оттенков света при малом увеличении были гораздо резче выражены, чем при сильном, где их было трудно различить, так как то же самое количество света приходилось здесь на большую поверхность. Кроме того, воздушные линзы в широком пучке света, проникающего в большие объективы, замывали резкие детали. Конечно, с другой стороны сложные комплексы объектов, при слабом увеличении не могут быть различимы и представляются глазу пятнышками правильной формы. Здесь у ликских астрономов, несомненно, сказался недостаток практики в наблюдениях подобного рода. Наблюдение Марса было для них всего лишь кратким эпизодом во время перерыва в другой, более важной работе по исследованию звезд. Между тем при изучении такого трудного объекта, как поверхность планет, наблюдатель должен в течение длительного времени непрерывно этим заниматься. Только в таком случае можно будет обнаружить все тонкие детали и выработать более устойчивый индивидуальный стиль в их изображении и интерпретации.

Очарование проблемы возможного существования марсиан давало о себе знать. Всемирно известный популяризатор астрономии Камилл Фламмарион опубликовал в 1892 г. обширную монографию «La planète Mars et ses conditions d'habitabilité» («Планета Марс и условия жизни на ней»). Заглавие книги намекало, а содержание полно раскрывало убеждение ее автора в том, что соседний с нами мир наделан своими собственными, еще неизвестными нам проявлениями жизни. Фламмарион писал: «...Значительные изменения, наблюдающиеся в сети водных путей, свидетельствуют о том, что эта планета является местом энергетически жизнеспособным. Эти движения кажутся нам медленными потому, что нас разделяет громадное расстояние. Когда мы спокойно смотрим на эти континенты и моря, медленно проплывающие перед нашим взором из-за

вращения планеты вокруг своей оси, и спрашиваем себя, на каком из этих берегов было бы приятней жить, там, возможно, в этот момент свирепствуют штормы и грозы, вулканы, чума, социальные перевороты и всевозможные виды борьбы за жизнь... Все же мы можем надеяться на то, что человечество там более развитое и мудрое, так как мир Марса старше нашего. Несомненно, что уже в течение многих столетий эта соседняя с нами планета наполнена шумом мирного труда» [7]. И далее Фламмарион замечает: «Современное население Марса, весьма вероятно, относится к более высокой расе, чем мы» (там же, стр. 588). В его словах звучит гордость от сознания красоты и величия завоеваний современной астрономии: «Впервые с возникновения человечества мы открыли в небесах новый мир, достаточно похожий на Землю, для того чтобы пробудить наши симпатии» (стр. 591). Фламмарион думает и о далеком будущем, когда люди обеих планет, объединившись, приступят к более грандиозным совместным работам. Он пишет: «Земля стала провинцией вселенной» и «мы чувствуем, что неизвестные братья живут там на других, родных им мирах, затерянных в Бесконечности» [8].

До настоящего времени человечество на Земле ограничивалось многочисленными научно-фантастическими рассказами о марсианах и кропотливыми и непрерывными научными исследованиями Марса.

Богатый американский аристократ, талантливый и сведущий в различных областях энтузиаст, Персиваль Ловелл основал в 1894 г. обсерваторию во Флагстаффе на высоте 2200 метров в исключительно сухом климате пустыни Аризоны, специально для того, чтобы при помощи большого 45-сантиметрового (позднее — 60-сантиметрового) телескопа Кларка изучать Марс и его обитателей. Самим Ловеллом и его ассистентами были сделаны и опубликованы многочисленные зарисовки, на которых открыто до 180 преимущественно новых каналов. Он придавал особое значение сезонному изменению вида материков, морей и каналов и объяснял их периодическим движением воды по направлению от тающей полярной шапки к растущей. Каналы служили вспомогательным средством для ирригации и для экономного расходования малого количества имеющейся там воды.

Еще более интересной оказалась работа французского астронома Антониади, который с 1909 г. изучал Марс на 83-сантиметровом рефракторе астрофизической обсерватории в Медоне, вблизи Парижа. С инструментом, превосходившим по величине объектива все рефракторы Европы, и в климате, отличавшемся устойчивостью телескопических изображений, Антониади удалось показать, что при таких условиях в руках хорошо подготовленного наблюдателя большие инструменты решительно превосходят ма-

лые в отношении изучения планет. Он увидел, как то, что Скиапарелли изобразил в виде прямых или раздвоенных каналов, разрешилось на различные меньшие по размеру детали — пятнышки, расположенные более или менее правильными рядами, но чаще разделенные случайным образом, или просто было границами областей различных оттенков. В течение двадцати лет Антониади продолжал наблюдения, зарисовки и описание Марса. Эта работа явилась значительным прогрессом по сравнению с наблюдениями Скиапарелли, так как она превосходила наблюдения его и других предшественников богатством отмеченных деталей. Иногда Антониади видел появление облаков, изредка белых, вероятно, состоявших из капелек воды, чаще же — желтых пылевых облаков, скрывавших детали поверхности. Наиболее заметным явлением было сезонное изменение окраски. Обычно более темные зеленоватые или голубоватые участки и пятна, вероятно, наиболее низкие районы, становились из-за засухи в летний период желтыми, бурыми, даже красными, причем каждый участок по-разному. Движение воды от полюса к полюсу, когда лед, иней и снег таяли, испарялись и вновь замерзали, он также рассматривал как основу видимых изменений. Работа Антониади открыла путь дальнейшему прогрессу в детальном изучении планет, показав, какого высокого совершенства может достигнуть квалифицированный наблюдатель на самых больших и лучших телескопах в хороших атмосферных условиях *).

Не могла ли здесь помочь фотография? В конце XIX в. удалось получить постоянно улучшающиеся фотографии поверхностей планет, но то, что они показывали, в лучшем случае было грубой расплывчатой копией того, что можно было увидеть на рисунках. При фотографировании непосредственно в фокальной плоскости изображения получались очень маленькими, всего в несколько миллиметров, и зерна эмульсии уничтожали все детали. При получении увеличенных изображений (во время длительного периода экспонирования) эти детали замывались дрожанием воздуха, тогда как глаз, наблюдая в короткие моменты спокойных изображений, мог дать все тончайшие детали, которые хоть на мгновение становились резко различимы. На снимках Марса, полученных в 1909 г. на 40-дюймовом телескопе Барнардом [9], Слайфером в 1922 г. на Ловелловской обсерватории, Райтом и Тремплером в 1924 г. на 36-дюймовом ликском телескопе и Россом на 60-дюймовом телескопе Маунт Вилсон, ясно вышли темные пятна в их обычном виде, а также полярные шапки. Естественно, тонких линий каналов не было видно. Однако в другом отношении эти фотоснимки были все же весьма поучительны. Райт снимал Марс на пластинках, сенсибилизированных к различным лучам определенного цвета. При этом изображения в инфракрасных и красных лучах показали весьма отчетливую топографию поверхности. Зато все эти детали совершенно не были видны на пластинках, снятых в синих и фиолетовых лучах, за исключением полярных пятен, которые представлялись в виде неопределенных расплывчатых теней. На основании сравнения с земными ландшафтами Райт установил, что это обусловлено эффектом атмосферы Марса, совершенно прозрачной для красных лучей и рассеивающей отраженные синие лучи. Все синие лучи из более глубоких слоев тонули в этом отраженном атмосферой свете.

*) [На рисунках (рис. 54) один и тот же темный воронкообразный объект, так называемый «Syrtis Major», представлен по изображению Гюйгенса, рисунку Скиапарелли, двум рисункам Беера и Мэдлера и рисункам Кайзера и Антониади.]

В последние годы был достигнут еще больший прогресс благодаря применению остроумного метода Лио для исключения влияния зерен эмульсии. Метод состоял в получении быстро следующих друг за другом многочисленных снимков с короткой экспозицией и совместной их отпечаткой в увеличенном масштабе. При этом зернистость отдельных снимков сглаживалась, образуя однородный фон. Эти изображения давали все, что было видно на рисунках, а иногда — и больше. Они открыли новый путь в изучении поверхностей планет.

Другие планеты в XIX в. давали значительно меньше материала для сенсационных открытий. На Меркурии отчетливые пятна не были замечены до тех пор, пока Скиапарелли в 1881 г. не увидел системы туманных слабых полос, которые занимали всегда одно и то же положение относительно терминатора. Отсюда вытекало, что планета повернута к Солнцу всегда одной и той же стороной, точно так же как Луна к Земле, завершая оборот вокруг оси за период обращения по орбите. Позднее это было подтверждено Персивалем Ловеллом из Флагстаффа, но оспаривалось Лео Бреннером, который в благоприятном климате Люссинпикколо, в Истрии, на маленьком телескопе наблюдал каналы Марса. Со всей определенностью вопрос был решен Антониади, который в 1924—1929 гг. сделал множество зарисовок с помощью большого Медонского телескопа и подтвердил период обращения Меркурия в 88 дней. Он видел на планете систему туманных широких, несколько более темных полос, в которых можно было ясно распознать объекты, наблюдавшиеся Скиапарелли. Они были устойчивыми образованиями на поверхности планеты, т. е. той половины ее поверхности, которая всегда была обращена к Солнцу и освещалась его лучами, тогда как другая половина всегда оставалась во тьме. Кроме того, Антониади увидел теперь и изменчивые белые пятна, которые он считал облаками белой пыли. Из-за малости силы тяжести на Меркурии нельзя было считать, что облака со-

стоят из водяного пара. Для пылевых же облаков достаточно было и незначительной тонкой атмосферы.

Почти каждый астроном, занимавшийся Венерой, никогда не встречал более незаметного различия теней и цветовых оттенков. [Иногда, полагая, что они увидели немного больше этого, наблюдатели выводили весьма сомнительные значения периода ее вращения вокруг оси.] Так, Де Вико из Рима, решив, что он в 1839 г. узнал пятна, замеченные сто лет тому назад Бьянкини, вывел по ним значение $23^h21^m22^s$. С другой стороны, Скиапарелли нашел, что Венера, как и Меркурий, повернута к Солнцу всегда одной и той же стороной и, следовательно, обращается вокруг своей оси за 225 дней. Этот вывод в отношении Венеры вызывал больше сомнений и споров, чем в отношении Меркурия. Виллигер из Мюнхена заметил в 1898 г., что на совершенно гладком матово-белом шаре Венеры при боковом освещении появились цветовые различия, которые по контрасту со слабыми оттенками производили впечатление туманных пятен, определенно неподвижных относительно границы тени.

Существует общее убеждение, что мы видим не саму поверхность планеты, а окутывающий ее плотный слой облаков. То, что Венера, несомненно, имеет атмосферу, было замечено*) уже во время прохождения Венеры по диску Солнца в 1761 г. по светлому кольцу, окружавшему выступивший за край Солнца более темный диск планеты. В XIX же веке неоднократно отмечалось, что рога серпа Венеры охватывают более 180°.

Изучению Юпитера XIX в. принес значительно меньше интересного. Все основное уже было установлено в прошлом столетии. Так, выяснили, что два темных пояса, параллельные экватору, разделялись светлой экваториальной полосой. Все эти зоны с неправильными пятнами быстро вращались вокруг оси планеты примерно за 10 часов. [При этом Юпитер имел большое, заметное на глаз сжатие у полюсов.]

Тот факт, что мы наблюдаем только верхнюю часть облачной оболочки планеты, не позволял по скорости движения облаков с достаточной точностью вывести период обращения Юпитера [10]. Он оказался изменяющимся с широтой. По темным полосам этот период равен примерно 9^h55^m, по экваториальной зоне — 9^h50^m. Благодаря большим размерам планеты уже в небольшой телескоп становятся различимыми многие детали, которые с течением времени заметно изменяются. Поэтому Юпитер представлял собой интересный объект наблюдения для астрономов, располагавших скромными наблюдательными средствами. В течение всего XIX в. многочисленные наблюдатели постоянно следили за пятнышками

*) М. В. Ломоносовым. (*Прим. ред.*).

в облачных поясах и зарисовывали их вновь и вновь. Им не удалось узнать намного больше того, что эти пятна постоянно возникают, изменяются и снова исчезают. Правда, с большими инструментами везде получали информацию о различных цветах: чаще всего желтого и красного оттенков с зеленоватыми частями между ними. В 1878 г. появилось нечто новое — большое веретенообразное красное пятно [которое оставалось видимым в течение многих лет, хотя постепенно бледнело и становилось менее отчетливым]. Оказалось, что оно наблюдалось также в 1859 г., а возможно, и в 1831 г. [11]. [Однако, красное пятно все же не было какой-либо частью самого тела планеты, так как период его вращения, составлявший примерно 9^h55^m, после 1910 г. стал короче, чем раньше.]

Сатурн (в соответствии с результатами измерений), еще более сплюснутый, чем Юпитер, т. е. безусловно также быстро вращающийся вокруг своей оси, был еще менее интересным в отношении характера поверхности. На нем обычно наблюдалась слабая темная полоса вдоль экватора. Несколько раз появлялось пятнышко, которое, оставаясь видимым в течение некоторого времени, давало возможность определить период вращения вокруг оси. Так, Асаф Холл в 1876 г. нашел для экватора $10^h14^m24^s$, Стенли Вильямс [в 1894 г.] — $10^h12^m13^s$ для экватора и $10^h14^m15^s$ для широты выше 20°, а Деннинг и Барнард в 1903 г. для пятна на 36° северной широты — 10^h38^m — 39^m. Следовательно, и здесь мы не видим ничего, кроме непроницаемого облачного покрова.

Еще более трудным объектом для изучения был Уран. На диске диаметром в 3 или 4 секунды, кроме общей зеленоватой окраски, не столь уже многое удавалось заметить. Иногда появлялись слабые полосы. Ловелл зарисовал несколько туманных пятнышек, реальность которых сомнительна. Быстрое вращение вокруг оси, лежащей почти в плоскости эклиптики, привело к заметной сплюснутости (около $^1/_{12}$). [При изучении Нептуна в телескоп детали его поверхности почти неразличимы.]

В качестве объектов, аналогичных нашей Луне, следует упомянуть и спутники других планет. Малые размеры этих тел привели к утрате ими атмосферы. С усовершенствованием телескопов в XIX в. открывали все больше таких спутников. У Меркурия и Венеры их нет, хотя нередко сообщалось об иллюзорном «спутнике Венеры», представлявшем собой ложное, отраженное инструментом изображение. В 1877 г. на самом большом в то время 26-дюймовом Вашингтонском телескопе Асаф Холл открыл двух спутников Марса. Правда, они были самыми маленькими в своем роде спутниками, диаметры которых оценивались тогда всего в 15 и 19 километров. Внутренний спутник, с периодом обращения в 7^h29^m, т. е. более коротким, чем период вращения Марса, для наблюдателя на Марсе восходит на западе и заходит на востоке.

Движение этих спутников оказалось для теории приливного действия сложной задачей.

В 1892 г. Барнард на 36-дюймовом Ликском телескопе открыл пятый спутник Юпитера, находящийся ближе к планете, чем ранее открытые четыре галилеевых спутника. Он также был малым объектом с диаметром, вероятно, в 160 *км*. За пределами системы галилеевых спутников в 1904—1914 гг. были фотографическим путем открыты еще 4 очень маленьких спутника, а позднее — еще несколько. Все они имели удивительные орбиты со значительным эксцентриситетом и наклонами, измененные сильными возмущениями, причем самые внешние спутники обращались вокруг Юпитера даже в обратном направлении. Все это в высшей степени интересные для небесной механики объекты. К семи спутникам Сатурна, известным к концу XVIII в., в 1848 г. прибавился восьмой, открытый почти одновременно Бондом в Гарвардский рефрактор и Ласселем в его рефлектор. В 1898 г. был фотографически найден маленький спутник на очень большом расстоянии от других, имевший обратное движение и сильный наклон орбиты. У Урана к двум спутникам, открытым еще В. Гершелем, Лассель при помощи своего большого телескопа в 1851 г. присоединил еще два очень слабых спутника. Орбиты этих четырех спутников располагались почти перпендикулярно к оси вращения, лежащей в плоскости эклиптики. У Нептуна, вскоре после открытия самой планеты, Лассель нашел спутник, также имевший обратное движение и сильно наклонную орбиту.

По размерам спутники были близки к небольшим планетам. Так, третий и четвертый спутники Юпитера имели диаметр около 5000 *км*, т. е. по своей величине они были даже больше Меркурия (правда, спутник Нептуна — еще немного больше). Другие два спутника Юпитера, так же как Луна и шестой спутник Сатурна, были чуточку меньше. Затем шли остальные, по убывающей линии до спутников Марса, которые видны только потому, что находятся очень близко к нам. Мы уже говорили о том, что малые планеты располагаются в виде аналогично убывающего ряда. Тогда как в предшествующие столетия проводили резкое различие между разными типами небесных тел (Солнцем, планетами и спутниками) по их величине и особенностям, XIX в. свел все различия к одному непрерывному ряду с убывающими размерами. Правда, Солнце одиноко стояло на первом месте. За ним шел Юпитер (диаметр 140 000 *км*, т. е. $^1/_{10}$ солнечного), открывавший бесконечный ряд следующих друг за другом объектов до телец с поперечником в 0,1 *км*, которые мы еще называем малыми планетами. и метеорных тел, все уменьшающихся по размеру.

Астрономия XIX в. не только познакомила нас с внешним видом небесных тел, но и позволила также проникать внутрь них.

Кое-что можно было узнать при помощи небесной механики, так как силы притяжения воздействуют на все внутренние частички. Первые данные были получены о средней плотности вещества планет. Массы планет были определены на основании движения их спутников, либо, что сложнее, по действующим на них возмущениям. Измерив диаметр планеты и, следовательно, зная ее объем, можно было найти также и ее среднюю плотность. Но все это в единицах массы Земли и земной плотности. Масса же, а следовательно, и плотность самой Земли в XIX в. выводились при помощи все более тщательных тонких измерений едва заметной силы взаимного притяжения между телами в лаборатории. Результат 5,5, значительно превосходивший плотность горных пород, составляющих земную кору, показал, что недра Земли должны иметь значительно бо́льшую плотность, свойственную только металлам.

Плотность Луны оказалась равной 3,3; Меркурия, Венеры и Марса — 3,8; 4,9 и 4,0 соответственно, т. е. меньше, но того же порядка, что и плотность Земли (при этом она убывает пропорционально размерам планеты). У больших планет была обнаружена значительно меньшая плотность: 1,3 для Юпитера; 0,7 для Сатурна; 1,3 для Урана; 1,6 для Нептуна. То, что средняя плотность Сатурна меньше плотности воды, можно объяснить только тем, что бо́льшая часть его объема состоит из газа. Таким образом, собственно твердая или жидкая поверхность лежит значительно глубже, а сама планета значительно меньше, чем окутывающий ее слой облаков, который мы принимаем за поверхность. Следовательно, атмосфера ее весьма обширна. Все это в несколько меньшей степени можно отнести и к другим, большим планетам.

Небесная механика могла дать еще больше сведений. Как следовало из формулы, выведенной Клеро еще в XVIII в., сплюснутость планеты зависит от скорости ее вращения и от степени увеличения плотности к центру. Таким образом, можно было по видимой сплюснутости планеты узнать о неравномерности распределения вещества внутри нее. Развитие в XIX в. сейсмографии — точной регистрации по всей Земле всех сильных и слабых землетрясений — придало иной вид этой теории. Вихерт в 1897 г. пришел к заключению, что Земля состоит из металлического (в основном железного) ядра с плотностью около 7,8 и окутывающей его мантии, состоящей из скальных пород, главным образом магнезито-железных силикатов с плотностью около 3,3. В 1934 г. Джефрис высказал полезную идею о том, что другие земноподобные планеты, средняя плотность которых уменьшается по мере уменьшения их объема, также делятся на две части, но каждый раз с меньшим железным ядром, которое, наконец, совершенно исчезает у нашей Луны. По сплюснутости Юпитера и Сатурна удалось

вывести, что здесь возрастание плотности к центру должно быть еще сильнее, чем у Земли. Таким образом, и у Юпитера очень протяженная атмосфера, несомненно, занимала значительную часть видимого объема планеты.

То, что мы начали узнавать таким образом об условиях на других мирах, далеко не было удовлетворительным. Однако помощь пришла с другой стороны. При этом изучении [длившемся уже столетия] астрономии не следовало больше полагаться только на собственные силы. В XIX в. физика дала ей новые инструменты и новые методы исследования. Это были прежде всего фотометрия, спектральный анализ, радиометрия и поляриметрия.

Принципы и инструменты, применяющиеся в фотометрии — «измерении света», так просты, что их можно было с успехом применять и в прошлые столетия. Но в то время к ней не проявляли интереса. Тогда еще не признавался беспокойный принцип науки XIX в., что для исследования важны все явления. Первые попытки в области фотометрии были предприняты в XVIII в. В 1729 г. Бугер провел ряд измерений, а в 1760 г. Ламберт дал первую теорию отражения света гладкими матовыми поверхностями. Отношение падающего света к свету, отраженному поверхностью по всем направлениям, Ламберт назвал альбедо этой поверхности. «Альбедо» — по-латыни «белизна» (книга Ламберта была написана на латинском языке). Это латинское слово вошло в употребление как научный термин. Практическая работа по фотометрии началась в астрономии с Джона Гершеля, который в 1836 г., во время своего четырехлетнего пребывания на мысе Доброй Надежды, измерил блеск многих звезд следующим образом: создаваемое маленькой линзочкой звездообразное изображение Луны он помещал на большем или меньшем расстоянии, чтобы уравнять его с действительной звездой. Основной закон оптики гласит, что интенсивность света уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния до его источника. Так как результаты различных ночей наблюдения плохо совпадали друг с другом, то Гершель полагал, что его измерения с «астрометром» имели неизвестные систематические ошибки. Но, как доказал впоследствии Целльнер, это произошло потому, что Гершель вычислял изменение блеска Луны в зависимости от фазы по разработанной в XVIII в. теории Ламберта, которая здесь не приложима. В действительности же измерения Гершеля очень хорошо совпадали друг с другом. В 1861 г. Целльнер (1834—1882) изобрел звездный фотометр, в котором искусственное изображение звезды создавалось маленьким, помещавшимся перед пламенем отверстием. Пучок лучей, идущий от этой искусственной звезды, можно было ослабить в точно известном отношении при помощи двух призм Николя, которые тем больше ослабляли свет, чем ближе угол между их осями приближался к 90°. Во время наблюдений искусственная звезда ослаблялась до уравнивания с естественной звездой и отсчитывалось, на какой угол потребовалось для этого повернуть николи. Позднее этот инструмент нашел широкое применение.

Тот же самый принцип ослабления света путем поляризации его николями Целльнер применил также и к измерению поверхностной яркости Луны в различных фазах. При этом он открыл, что в полнолунии сила света достигает резкого максимума, т. е. точно перед противостоянием, и после этого момента сила света очень быстро и равномерно убывает с «углом фазы», т. е. углом, который солнечные лучи, падающие на Луну, образуют с направлением луча зрения. Теория Ламберта для гладкого матового шара позволяла ожидать в полнолунии главного максимума, где яркость на короткое время остается примерно одинаковой, и лишь с возрастанием угла фазы начинает все сильнее уменьшаться. Целльнер сразу же понял, что исходное положение теории о гладком матовом шаре было неправильным. Поверхность Луны — совершенно негладкая. Поэтому непосредственно перед моментом противостояния и сразу же после него становятся видимы тени гор, уменьшающие полное количество света. С возрастанием фазового угла эти тени непрерывно расширяются. Падение яркости (выраженное в звездных величинах) с увеличением фазового угла на 1°, так называемый «фазовый коэффициент», оказавшийся равным 0,025, мог служить указанием на степень неровности лунной поверхности. При последующих измерениях Н. П. Барабашова (в 1923 г.) поверхностная яркость гладких участков Луны оказалась точно так же быстро убывающей с фазовым углом. Таким образом, то, что представлялось нам гладким, оказалось усеяно ямками и бугорками, как будто бы поверхность Луны была куском пемзы.

Значительно труднее было сравнить яркость полной Луны с яркостью Солнца, так как эти величины сильно различаются. Целльнер нашел для этих величин соотношение 618 000. Незадолго до этого Бонд иным методом нашел 470 000. Позднее этим занимались различные физики и астрономы, получая главным образом меньшие результаты, а часто и значительно бо́льшие. Обычно принимали в среднем 465 000, правда, ошибка могла еще составлять 10%.

Для Луны Целльнер нашел альбедо равным 0,17. Позднейшие исследователи получили 0,07, что указывало в среднем на довольно темные горные породы.

Целльнер, заложивший основы современной астрофотометрии, во время своей работы 1862—1864 гг. измерял также и поверхностную яркость планет. У Юпитера он не нашел ничего особен-

ного, у Марса же фазовый коэффициент был довольно большим. Для альбедо Марса Целльнер нашел 0,27, а для Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна 0,62; 0,50; 0,64 и 0,47 соответственно. Таким образом, у всех них отражение могло быть весьма значительным.

Фотометр Целльнера позднее использовался Густавом Мюллером и П. Кемпфом с 1877 по 1893 г. на астрофизической обсерватории в Потсдаме для обширных рядов измерений яркости планет. Результат сводился к определению двух характеристик: альбедо и фазового коэффициента. Для Меркурия фазовый коэффициент оказался равным 0,037, т. е. еще больше, чем у Луны, а альбедо 0,07. Для Венеры соответственно: 0,013 и 0,59. Эти числа говорили о различии между обеими планетами лучше, чем любое описание. Большой фазовый коэффициент и малое альбедо у Меркурия указывали на то, что поверхность этой планеты, которую мы можем рассматривать без помех со стороны ее атмосферы, похожа на поверхность Луны, с темными скалами, отбрасывающими неровные тени. Высокая отражательная способность Венеры, которая и делала ее нашей яркой вечерней звездой, указывала на то, что мы видим не твердую поверхность этой планеты, а белый верхний слой облаков. Это подтверждал и малый фазовый коэффициент. Для Марса Мюллер и Кемпф нашли малое альбедо, указывающее на то, что мы видим не слишком темную поверхность этой планеты, а малый фазовый коэффициент говорил о том, что эта поверхность довольно гладкая, без больших неровностей. Большое альбедо (0,56) и малый фазовый коэффициент (0,015) Юпитера указывали на те же условия наблюдения, что и для Венеры. [Это означало, что мы смотрим на верхний облачный слой планеты.] Фазовый коэффициент Сатурна и Урана трудно определить ввиду малой фазы, но большое альбедо указывает на аналогичные условия наблюдения.

Фотометрические наблюдения кольца Сатурна привели к интересным заключениям. Лаплас уже раньше показал, что плоские твердые кольца в плоскости экватора Сатурна не могли бы сохранить состояние равновесия при свободном движении в пространстве. В 1859 г. известный физик Джеймс Клерк Максвелл, основатель современного учения об электричестве, ответил на этот вопрос, доказав, что такие кольца, твердые или жидкие, должны быть раздроблены на куски центробежной и центростремительной силами, а эти куски могли бы обращаться около планеты. Таким образом, он выдвинул идею о том, что кольца Сатурна состоят из большого числа мельчайших телец, которые обращаются около Сатурна в плоскости его экватора примерно по круговым орбитам как крошечные, невидимые каждый в отдельности спутники [12]. Подтверждение этого мнения было найдено Кирквудом, который объяснил темную щель между внешним и внутренним кольцом

Сатурна таким же образом, как и пробел в кольце планетоидов: соизмеримостью с движением самого большого спутника Сатурна. Юпитер точно так же образует своим притяжением подобные щели в совокупности малых планет. Другим доказательством было открытое Бондом в 1850 г. «креповое кольцо» — слабое, полупрозрачное продолжение кольца с внутреннего края [13].

Мюллер из своих фотометрических наблюдений нашел, что фазовый коэффициент Сатурна был очень мал, когда кольцо становилось невидимым. Если же оно широко раскрывалось, количество света, получаемого от планеты, возрастало в $^8/_3$ раза. Этот свет обнаруживал большой фазовый коэффициент 0,044, который, должно быть, возрастал за счет света кольца. Зеелигер (Мюнхен) дал этому объяснение, исходившее из той же идеи, что и целльнерово объяснение для Луны. Если частицы кольца видны точно в направлении распространения солнечных лучей, то каждая частица точно закроет своей тенью расположенные сзади нее частички. Как только направление луча зрения отклонится на малый угол, сразу же появляются краешки тени.

Так, фотометрические измерения показали, что кольцо действительно состоит из отдельных маленьких телец.

Возвращаясь к упомянутым выше физическим методам, следует отметить, что поляриметрию можно рассматривать в некотором отношении как усовершенствование фотометрии. Степень поляризации отраженного света, положительная или отрицательная, т. е. процентное отношение света, поляризованного параллельно или перпендикулярно к плоскости падения, для любого вещества определенным образом зависит от угла между направлениями падающего и отраженного лучей. Только после того, как в XX в. полярископы были улучшены так, что удалось гарантировать определение степени поляризации с точностью примерно до 0,1%, эти инструменты приобрели практическое значение для изучения планет. Б. Лио (Париж), начиная с 1924 г., измерил поляризацию поверхностей различных планет как функцию их угла фазы. Для Луны эта функция имела весьма неравномерный ход, попеременно то положительный, то отрицательный. Из всех исследованных земных материалов точно такой же ход имел лишь вулканический пепел. Это давало некоторые сведения о характере лунной поверхности.

Почти идентичный ход обнаруживался и у Меркурия. У Венеры он имел совершенно иной характер, соответствовавший свету, отраженному не от белых облаков, а от тонкого редкого тумана, в котором можно было определить даже среднюю величину капель. Таким образом, наблюдая Венеру, мы видим не столько верхний слой облачного покрова, сколько глубокую, совершенно непрозрачную атмосферу из тонкого белого тумана. У Марса ход поляри-

зации был, правда, немного похож на лунный, но еще лучше он соответствовал поверхности, состоящей из песчаника. Иногда там происходили неделями длившиеся бури, которые носили характер пылевых. Эти песчаные бури указывали на сухость атмосферы. [Одновременно они приводили к стиранию деталей на поверхности планеты.] У Юпитера и Сатурна [при малом ходе поляризации] был выведен значительно меньший угол фазы и установлена только разность между экваториальной и полярными областями.

Радиометрия, т. е. измерение теплоты, была всегда значительно сложнее фотометрии, потому что у человека нет столь же чувствительного органа, восприимчивого к теплу, как глаз — к свету. Только в XIX в. были сконструированы физические приборы столь большой чувствительности, что с их помощью стало доступным тепловое излучение, приходящее от иных, чем Солнце, небесных тел. Термостолбик Меллони использовался при изучении Луны еще в 1846 г. самим изобретателем, а позднее (в 1869—1872 гг.) лордом Россом. Из полного потока теплового излучения, получаемого от Луны, вычитался прямо отраженный солнечный свет (т. е. коротковолновое излучение с длиной волны меньше 0,7 микрона). Тогда можно было вычислить температуру, характеризующую теплоту, исходящую из остававшейся нагретой лунной поверхности (это тепловое излучение с длиной волны больше 1 микрона). Отделение длинноволнового излучения от коротковолнового осуществлялось пропусканием света через тонкий слой воды, полностью поглощающий длинноволновое излучение. Так, лорд Росс нашел, что 14% общего излучения Луны представляли собой отраженное солнечное излучение, а 86% — собственное излучение Луны. Отсюда он пришел к заключению, что температура частей лунной поверхности, подвергшихся действию полного солнечного излучения, на 300° выше температуры неосвещенных частей. Позднее (1874 г.) его результаты были подтверждены на обсерватории Аллегени тщательными измерениями Вери, который нашел, что температура мест Луны, освещаемых перпендикулярно падающим солнечным излучением, значительно больше 100° С, а неосвещенных частей — лишь немного выше 100° по абсолютной шкале. Бедиккер, ассистент лорда Росса, в 1886 г. нашел, что во время полного лунного затмения температура быстро спадает, т. е. что тепло, поглощаемое самым поверхностным слоем, быстро теряется.

Применение чувствительного радиометра Крукса и все большее возрастание чувствительности современных термоэлементов, располагаемых в фокальной плоскости самых больших телескопов-гигантов, в последние годы сделали возможным также и тепловые измерения поверхностей планет. Промежуточные слои различных веществ, поглощающих тепло, таких как стекло и флюорит, позволяли еще детальнее разделять длинноволновое и коротковолновое излучения. Никольсон и Петтит на обсерватории Маунт Вилсон во время лунного затмения 1927 г. нашли радиометрическим путем, что температура почвы на Луне к концу полной фазы падает с 70° С до —120° С. По измерениям Коблентца и Лампланда, выполненным в 1926 г. на обсерватории Ловелла, Менцел вывел, что полуденная температура поверхности Марса составляет около 0° С, а часто и выше, причем темные части немного теплее желтых. Утром температура начинает подниматься примерно от —100° С. На южном полюсе с наступлением зимней ночи она опускается ниже —100°, но в течение длительного летнего освещения становится теплее, и температура поднимается немного выше 0°. Еще раньше высказывались опасения, может ли быть на Марсе жидкая вода, ввиду более слабого освещения его солнечными лучами? Не покрыта ли планета толстым слоем льда, в котором «каналы» должны представлять собой гигантские трещины? Эти опасения были отвергнуты, однако наша Земля представляется лучшим местом для жизни.

Таким же образом для Меркурия была найдена температура в 400°, для освещенной части Венеры 60°, а для неосвещенной — 20°. Следовательно, Венера не могла непрерывно освещаться солнечными лучами и период вращения не может быть так долог, как период обращения вокруг Солнца (225 дней). У Юпитера температура неожиданно оказалась не выше —130° С, у Сатурна —150° С, а у Урана еще ниже, примерно —200° С. Раньше, правда, считали что Юпитер должен быть охлажден не весь и что внутренняя теплота планеты была причиной возникновения гигантских облачных образований и турбуленций в атмосфере. Это было поставлено под сомнение еще Джефрисом, в 1923 г. Теперь оказалось, что это предположение действительно неверно. Можно подсчитать, что найденные температуры примерно совпадают с температурой почвы, которая освещается солнечным светом малой интенсивности (из-за большого расстояния). При этом следует всегда помнить, что все сказанное здесь относится к температуре верхнего края облачного покрова, т. е. к верхним слоям атмосферы (как и в случае Венеры).

Спектральный анализ явился наиболее могущественным методом исследования из тех, которые физика XIX в. предоставила в распоряжение астрономии. Вскоре после его открытия в 1860 г. этот метод стал применяться к звездам и планетам: Вильямом Хеггинсом (Англия), А. Секки (Рим), а затем Резерфордом (Америка) и Г. К. Фогелем в Боткампе (Германия) [14]. Что удалось при этом получить для планет? Их свет — отраженный солнечный свет — давал спектр, идентичный с солнечным спектром, с теми же самыми фраунгоферовыми линиями. Но, дважды проходя через атмосферу планеты, свет частично поглощался ею. Если

отражающая поверхность была окрашена, это вызывало, кроме того, и иное распределение интенсивности в спектре. Когда позднее точность измерения длин волн, благодаря использованию фотографии, стала достаточно высока (т. е. с 1890 г.), появилась возможность измерять лучевые скорости, а следовательно, также и скорости вращения.

[Перейдем к тому, что выяснилось для Юпитера при помощи этого метода. Расположим щель спектроскопа в направлении восток — запад, т. е. вдоль экватора диска Юпитера. Тогда спектральные полосы одного края планеты будут двигаться к нам, а другого — от нас. Концы линий смещаются в направлении дисперсии, и их искривление сразу же становится заметным. Оно характеризует скорость вращения.] Спектрограммы Сатурна, полученные в 1895 г. Килером на Ликской обсерватории*), показали тот же самый наклон линий в спектре планетного диска, тогда как по обе стороны от спектра диска имелось две полосы—спектры кольца; их линии имели противоположный наклон. Первый наклон соответствовал скорости вращения 10 *км/сек*, что подтверждал и период вращения, примерно равный $10^1/_4$ часам. Второй — точно совпадал с орбитальной скоростью, которую должны были иметь свободно обращающиеся на данном расстоянии маленькие спутники. На внутреннем крае кольца скорость была больше 20 *км/сек*, а на внешнем меньше 16 *км/сек*. Это явилось новым подтверждением теории Максвелла о метеоритном строении кольца Сатурна, значительно более наглядным, чем фотометрические доказательства.

Этим методом можно было получить новые данные и для других планет. Слайфер на Ловелловской обсерватории по спектрограммам, снятым в 1911 г., определил период вращения Урана в 10,7 часа. Этот период согласуется с величиной сжатия $^1/_{12}$, выведенной по измерениям диаметра. Надеялись, что спектрографический метод поможет сделать выбор между быстрым вращением Венеры, примерно в одни сутки, и медленным, равным периоду одного обращения планеты. Однако это была в высшей степени сложная проблема, так как в первом случае скорость на экваторе, так же как и у Земли, должна быть не более 0,4 *км/сек*. На своих спектрограммах 1903 г. Слайфер при тщательном измерении не нашел никаких следов наклона спектральных линий. При известной точности спектрограмм это означало только то, что скорость не могла быть больше 0,02 *км/сек*, т. е., что период вращения, по всей вероятности, не меньше нескольких недель. Во всяком случае не одни сутки.

У Луны, не имеющей атмосферы, можно ожидать только изменения цвета при отражении света. Сравнив при помощи

*) Это было сделано также А. А. Белопольским. (*Прим. ред.*)

спектрофотометрических измерений интенсивность различных участков спектров Солнца и Луны, Вильзинг (из Потсдама) установил, что поверхность Луны немного желтоватая, как песок или зола.

Важное значение имеет изучение планетных атмосфер. Поглощение земной атмосферы вызывает появление в красной части изучаемых спектров трех сильных полос, обозначаемых буквами A, B (поглощение кислорода) и α (поглощение водяных паров). Вопрос о том, будут ли эти атмосферные полосы в спектре Венеры и Марса сильнее, чем в солнечном спектре, т. е. проявляется ли поглощение кислорода и водяных паров в планетных атмосферах так, как в нашей собственной, вызвал усиленную полемику. Наблюдения такого рода были в высшей степени сложны. Необходимо было не только разглядеть полосы поглощения в очень слабом, едва видимом красном конце спектра, но также и измерить длину их волны и решить, превосходит ли интенсивность измеряемых полос интенсивность полос лунного спектра.

В 70-х годах XIX в. наблюдатели Хеггинс и Маундер (из Гринвича), Жансен (Медон) и Фогель (Боткамп) пришли к одинаковому заключению: в атмосферах Марса и Венеры есть кислород и водяной пар. Этот вывод они подтвердили еще раз, в 1894 г. Несомненно, что определенную роль сыграло здесь предвзятое мнение о своего рода естественном сходстве или единообразии атмосфер. Примечательно, что впоследствии, когда спектроскопы улучшились, т. е. стали более светосильными и приобрели большую разрешающую способность, возникли сомнения в правильности сделанного вывода. В 1894 г. Кемпбелл заявил, что он не смог обнаружить различий в интенсивности указанных полос между планетой и Луной, находящейся на той же высоте.

Только фотографирование спектров, и притом на специально сенсибилизированных пластинках, очувствленных к красному свету, дало возможность найти точное решение. Однако и теперь это оказалось далеко не просто. Лучший способ состоял в измерении спектров в те моменты, когда планета двигалась с большой скоростью от нас или к нам, так как тогда линии поглощения планеты должны были смещаться относительно полос поглощения земной атмосферы. Изучая спектрограммы Венеры, снятые в 1908 г., Слайфер не обнаружил и следа раздвоения или смещения в положении кислородных линий или линий водяных паров.

Оказалось, что кислород и водяные пары отсутствуют в доступных нашему взору верхних слоях атмосферы Венеры. На Маунт Вилсон получили тот же результат. Однако здесь была обнаружена другая полоса поглощения, очевидно, принадлежавшая углекислоте. Решить этот вопрос для Марса оказалось значительно

труднее. В 1908 г. Слайфер получил прекрасные спектрограммы Марса. На основании фотометрических измерений Вери нашел, что кислородные полосы на 15% интенсивнее полос кислорода в спектре Луны. Водяного пара также там оказалось больше, чем в сухом воздухе Флагстаффа. Кемпбелл, напротив, не нашел в 1910 г. никакого ясного отличия от Луны. В 1925 г. Адамс и Сент Джон на Маунт Вилсон получили спектрограммы с еще более высокой дисперсией, чтобы посмотреть, не обнаружатся ли теперь небольшие сдвиги в положении отклонившихся слабых линий атмосферы Марса, покрываемых полосами кислорода и водяного пара земной атмосферы, относительно линий металлов.

В результате было установлено, что количество водяного пара в атмосфере Марса не превышает 3% его содержания в атмосфере Маунт Вилсон, а кислорода — 16%. Таким образом, вопрос, казалось, был решен в пользу сухой атмосферы пустыни, где содержание кислорода было значительно меньше, чем у нас на самых высоких горах. Когда же возникла возможность снимать сильную кислородную полосу B с очень высокой дисперсией при помощи новых сенсибилизаторов к красному свету, Адамс и Дюгем в 1933 г. заново изучили этот вопрос. Теперь с большой точностью было установлено полное отсутствие всяких следов кислорода на Марсе. Количество свободного кислорода в атмосфере планеты оказалось крайне малым, определенно меньше 1%, а возможно, меньше 0,1% того количества, которое имеется в земной атмосфере. Позднее Дж. П. Кейпер нашел в атмосфере Марса небольшое количество углекислого газа. В результате этих исследований было установлено, что как на Марсе, так и на Венере нет существ, жизнь которых зависит от наличия в атмосфере кислорода. Что же тогда означает зеленоватый цвет темных частей Марса, названных «морями», если не объяснять его цветом растительности? Кейперу удалось сфотографировать их спектр; оказалось, что характерные для хлорофилла полосы поглощения в инфракрасной части спектра здесь отсутствуют. Поскольку то же самое наблюдается и в спектре земных мхов и лишайников, то не исключено существование на Марсе низшей растительности[15].

Спектральное исследование больших внешних планет дало результаты не менее неожиданные. Уже в 60-х гг. Секки и Хеггинс заметили у Юпитера полосу поглощения в красном участке спектра, с длиной волны 6180 Å, принадлежавшую неизвестному на Земле веществу. В 70-х годах у Урана наряду с этими был замечен еще ряд других неизвестных полос в красном и желтом участках спектра. Когда новые сенсибилизаторы для фотографических эмульсий расширили эту область до инфракрасного участка, Слайферу удалось установить, что у всех четырех больших внешних планет обнаруживаются одни и те же полосы, которые

у Юпитера наиболее слабы, а с увеличением расстояния от Солнца становятся все сильнее. Долгое время не знали, какому газу приписать эти полосы поглощения, до тех пор, пока Руперт Вильдт из Геттингена не указал, что большая часть из них встречается в спектре метана, а многие другие возникают в результате поглощения аммиака. Это было подтверждено Дюгемом на обсерватории Маунт Вилсон при точном сравнении спектров. На основании теоретических соображений Г. Н. Рессел пришел к заключению, что при отсутствии кислорода такие элементы, как азот, водород и углерод, в условиях столь низких температур, как —100° С и ниже, могут давать наиболее устойчивые соединения типа метана (CH_4) и аммиака (NH_3). Возрастание их интенсивности от Юпитера к Нептуну зависит от понижения температуры.

Джефрис в 1934 г. пришел к заключению, что Юпитер и Сатурн состоят из каменистого ядра и окружающей его толстой мантии, состоящей из льдов и твердой углекислоты с плотностью, примерно равной единице. Планеты окутаны обширной атмосферой, состоящей из азота, водорода, гелия и метана, в которой плавают облака, главным образом из кристалликов аммиака[16].

Итак, вопрос о множественности миров в течение последнего века получил совершенно иной вид. В течение трех прошедших столетий стремились сильнее подчеркивать сходство темных небесных тел с Землей для обоснования новой гелиоцентрической системы мира. Убеждение в целесообразности творения, мысль, что планеты предназначены для того, чтобы служить местом обитания живых существ, способствовали созданию гармоничного представления о мире. Развитие астрономии в XIX в., однако, все убедительнее доказывало их различие и обнаруживало все большее богатство и многообразие природы, чем можно было предполагать в первых представлениях более наивных времен.

Убежденность в целесообразности давала пищу для научно обоснованных предположений, что условия на других мирах определяются естественными силами и воздействиями, различными для каждой планеты и зависящими от ее (планеты) особенностей и положения.

Вопрос о химических реакциях различного рода атомов и молекул в атмосфере Юпитера и возникающих при этом образований и окрасок не терял своего очарования, но теперь любая мысль о живых организмах должна была быть отброшена.

Однако это означало решительный поворот в нашем представлении о мире. Мечты о множестве обитаемых миров, о других людях на соседних родственных небесных телах — развеялись. Правда, мы еще не знаем о возможностях других звездных систем, но что касается нашей солнечной системы, то жители Земли — единственные представители разумных существ. Теперь мы

еще не чувствуем одиночества, теперь мы еще разделены на враждующие народы, считающие друг друга врагами, пытающиеся истребить друг друга. Но когда однажды человечество на Земле объединится, оно должно будет осознать свое одиночество в нашей солнечной системе (возможно, что другие разумные существа отдалены от нас на непреодолимо большие расстояния), и это окажет глубокое влияние на его представление о жизни.

Земля, населенная разумными живыми существами, занимает особое место среди планет благодаря наличию кислорода в ее атмосфере. Кислород как важная составная часть воздуха является аномалией в планетном мире. Из-за того, что этот элемент так легко соединяется со многими другими элементами, он должен быстро поглотиться и войти в состав горных пород, слагающих земную кору. Он должен был бы вскоре исчезнуть на Земле, если бы постоянно не пополнялся за счет фотохимических процессов в клетках растений, т. е. разложения углекислого газа хлорофиллом при поглощении солнечного света. Суть возникшего здесь вопроса такова: как появился на Земле хлорофилл? Какие особые условия, очевидно, пока отсутствующие на Венере с ее богатой углекислым газом атмосферой (но которые, может быть, появятся здесь в будущем), послужили причиной возникновения в теплом первичном океане белковых молекул, соединившихся в живую материю. Какие условия привели к образованию особых углеродных соединений, которые смогли использовать солнечное излучение для разложения молекул углекислого газа на углерод (для самих себя) и кислород для будущего мира животных? Однажды начавшись, этот процесс затем создал возможность для существования живых организмов, которые черпали свою энергию и жизнедеятельность в связывании свободного кислорода. Это открыло путь для развития всего органического мира, которое, наконец, привело и к появлению человека. Однако изучение этого фундаментального вопроса едва только началось. Развитие астрономии в последнем столетии выделило этот вопрос как специфически земную проблему.

ГЛАВА 36

КОСМОГОНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ

Как возник мир? Уже в самом начале цивилизации и даже раньше, в период варварства, люди задумывались над этим вопросом. В своих сагах и легендах они давали различные ответы на этот вопрос, в полном соответствии со своим образом жизни и уровнем знания. Такие космогонические представления относились не к астрономии, а к фольклору и религии, или же, как позднее в Греции, они стали делом поэтов и философов. Эти космогонические гипотезы соответствовали самому простому представлению о строении мира, в котором небо и Земля были двумя равнозначными половинами. Большей частью они исходили из первоначального состояния хаоса, в который боги актом творения внесли порядок. Творение из ничего, из первоначального «ничто» лежало за пределами их воображения.

В средние века и в новое время космогонические представления целиком определялись христианским учением в том виде, как оно излагалось в книге бытия. Все веками длившиеся научные споры затрагивали только строение мира, а не его происхождение. Эта проблема появилась только в XVIII в., веке рационализма. Мы уже познакомились с теорией Канта и Лапласа о возникновении солнечной системы из первоначальной туманности. Здесь впервые примитивная легенда была заменена научной теорией. Эта теория не могла уйти дальше науки того времени. Помимо астрономии единственной наукой, имевшей твердые основы, была механика — учение о движениях и силах. Таким образом и космогония XVIII в. не могла дать больше, чем учение о механических действиях в применении к ограниченному вопросу — солнечной системе. Действительная и всеобъемлющая научная космогония стала возможна только в результате развития физики, в XIX в.

Уже в начале этого века атомное учение внесло в сознание естествоиспытателей общее представление о неуничтожимости материи. Это повлекло за собой убеждение в вечности законов природы, господствующих в мире прошлом и будущем, где акту творения не было больше места. Так, идея космогонии (хотя это название употреблялось и позднее) уступила место идее эво-

люции. Учение об эволюции вселенной теснейшим образом связано с развитием астрофизики.

Возникновение астрофизики и ее развитие, несомненно, явилось важнейшим нововведением в астрономию XIX в. Постепенно она обогнала всю старую астрономию. Как и собственно астрономия, астрофизика является наукой о самих небесных телах, составляющих вселенную. Однако, это — не наука об их движениях, т. е. лишь о внешнем их поведении под действием гравитации, а наука об их физической природе и строении. При этом основное внимание обращалось не столько на планеты (малые темные тела, различимые лишь по соседству с нами), сколько на большие самосветящиеся небесные тела — миллионы звезд во вселенной, источники излучения тепла и света, наполняющие вселенную энергией излучения. Среди них наше Солнце — основа нашей жизни — наиболее значительный и важнейший объект для научных исследований.

В этом развитии астрономия уже не сохраняла автономию, она больше не была пионером, как в древности, вынужденным самостоятельно прокладывать себе дорогу. Теперь она опиралась на другие науки, особенно на физику. Астрофизика стала теперь, как показывает само ее название, применением физики к небесным телам. Правда, ей пришлось подождать примерно до середины XIX в., пока физика не разработала вспомогательные средства и методы, которые можно было применить к изучению отдаленных миров и наряду с этим установить общие законы и принципы, применимые к явлениям во всем мире. Первое было осуществлено в результате открытия спектрального анализа, а второе — в результате возникновения механической теории теплоты, включая учение об энергии и энтропии.

Развитие теоретической физики, особенно теории теплоты, теснейшим образом связано с появлением паровой машины, как технической основы индустрии XIX в. Практическое и теоретическое изучение действия паровой машины было, по существу, делом величайшего экономического значения. Здесь ежедневно можно было видеть, как из тепла возникала механическая работа и как само тепло превращалось в работу. Поскольку производительность машин повышалась по мере использования более высоких температур, то, по представлению Карно, коэффициент полезного действия возникал из-за того, что теплота (рассматривавшаяся тогда как особая материя) переходила из более нагретого места в более холодное, подобно тому, как на водяных мельницах совершалась работа потому, что вода переходила от более высокого уровня к более низкому. С другой стороны, имея дело с машинами, человек познакомился со многими случаями, когда при преодолении сопротивления или трения работа порождала тепло. Так в сознании физиков возникла концепция энергии как способности выполнения работы. В дальнейшем она стала господствовать в физике. В законе сохранения энергии, высказанном в 1842 г. Юлиусом Робертом Майером, было установлено, что энергия неуничтожима. Она может проявляться в самых различных формах (одна из них — теплота). Энергия постоянно переходит из одной формы в другую, но при этом общее количество энергии остается постоянным. В то же время в Англии Джоуль определил, скольким единицам работы эквивалентна одна единица тепла (1 калория, которая нагревает 1 килограмм воды на 1 градус, равна 425 килограммометрам, т. е. работе, которую необходимо затратить для того, чтобы поднять 425 *кг* на 1 метр). В Германии Гельмгольц в 1847 г. показал, что эти превращения энергии происходят во всех физических явлениях.

Истина, заключенная в представлениях Карно, которые вначале казались противоречивыми, стала понятной лишь в следующие 1850—1854 гг., когда Р. Клаузиус в Германии и В. Томсон в Англии связали их с законом сохранения энергии. Как теперь выяснилось, энергия могла перейти из тепловой формы в работу только при одновременной затрате некоторого количества теплоты, сопровождающейся понижением температуры. Само собой разумеется, что тепло переходило (посредством излучения или проводимости) от более теплого тела к более холодному. Механическая энергия переходила в тепловую. Это — самопроизвольно идущий в природе положительный процесс. Обратный процесс может идти только тогда, когда он одновременно компенсируется положительным процессом. Это так называемое «второе начало термодинамики» Клаузиус выразил в математической форме, введя понятие энтропии, т. е. величины, характеризующей полное тепловое состояние системы. Любому количеству тепла соответствует тем большее значение энтропии, чем ниже температура системы. В самопроизвольных процессах энтропия всегда возрастала, тогда как все противоположные процессы (от тепла к работе или от низких температур к высоким) должны были постоянно компенсировать ее возрастание. Эти два основных закона термодинамики (количество энергии во вселенной остается постоянным и превращения энергии во вселенной идут в определенном направлении) приобрели величайшее значение в астрономии.

Сразу же после того, как первый закон энергии был установлен для земных явлений, он был распространен на небесные тела и применен к проблеме Солнца. Это само собой понятно. Здесь, на Земле постоянно происходили превращения различных форм энергии друг в друга: в кинетическую энергию, потенциальную энергию, химическую и электрическую энергию, теплоту, жизненную энергию, и к этим видам превращений сводились все явления на Земле. Однако источником их всех была энергия излучения,

которую Солнце посылало на Землю. Любое глубокое рассмотрение проблемы неуничтожимости энергии само собой приводит к следующей постановке вопроса: где, в какой из других форм мы должны искать источник солнечного излучения? Практически это соображение сводилось к загадочному вопросу о поддержании солнечного тепла. Как могло Солнце, несмотря на огромную потерю энергии на излучение, все же сохранять высокую температуру и продолжать светить с неуменьшающейся интенсивностью?

Майер сразу же получил ответ: теплота возникает из кинетической энергии. Подобно тому, как метеорные тела из межпланетного пространства бомбардируют Землю, они могут падать также и на Солнце. Исчезновение их кинетической энергии при столкновении с Солнцем означает возникновение такого же количества тепловой энергии. Однако, когда эти процессы были проверены количественно, объяснение Майера оказалось несостоятельным. Излучение Солнца составляет $2{,}9 \times 10^{33}$ калорий в год, а кинетическая энергия одного грамма вещества, прилетевшего издалека и упавшего на солнечную поверхность, равна $4{,}4 \times 10^{7}$ калорий. Отсюда следует, что для того, чтобы полностью компенсировать потерю на излучение, о Солнце ежегодно должно было бы ударяться $6{,}5 \times 10^{25}$ *г*, т. е. одна тридцатимиллионная часть солнечной массы ($19{,}8 \times 10^{32}$ *г*). Это количество кажется небольшим, но оно велико, очень велико. Непрерывное увеличение массы Солнца на такую величину заставило бы планеты обращаться вокруг него со все возрастающей скоростью. Так как период обращения Земли составляет тридцать миллионов секунд, длина года должна была укорачиваться ежегодно на две секунды. Это невозможно: ведь в тысячи раз меньшая величина была бы уже давно замечена при наблюдениях.

Гельмгольц в 1853 г. в своей теории сжатия предложил иное объяснение постоянства солнечного излучения. Когда Солнце сжимается, т. е. все его частички приближаются к центру тяжести, потенциальная энергия притяжения уменьшается и возникает равнозначное количество теплоты. Излучение возмещалось при уменьшении диаметра Солнца на 75 метров в год, т. е. на 1/18 000 000 его диаметра. Это уменьшение было настолько незначительно, что наши измерения даже через тысячу лет не смогли бы его обнаружить. Теория Гельмгольца дала не только удовлетворительное объяснение загадки сохранения солнечного тепла, но также и установила теперь связь с теорией Канта и Лапласа о возникновении солнечной системы при сжатии первоначальной туманности. Если раньше эта гипотеза прежде всего давала объяснение возникновению планет и их кругового движения, то теперь главной задачей стала проблема возникновения Солнца при сжатии этой первоначальной туманной массы до небольшого

небесного тела, причем часть массы, из которой образовались планеты, была совершенно ничтожна. Вычисление показало, что при сжатии материи от обширнейших размеров до нынешнего объема Солнца могло возникнуть столько тепла, сколько потребовалось бы на поддержание нынешнего излучения Солнца в течение восемнадцати миллионов лет. Это дало первую физико-астрономическую оценку шкалы времени, в которой можно было измерить возраст солнечной системы, а следовательно, также и Земли.

Развивая эту идею, американский математик Джеймс Хомер Лейн отметил в 1871 г., что Солнце получило высокую температуру при сжатии, так что первоначально высокая температура туманности не является необходимой. Он доказал, что очень медленно расширяющийся или сжимающийся газовый шар в свободном пространстве может находиться в равновесии только в том случае, если температура будет изменяться обратно пропорционально радиусу шара. Теплота, возникающая при сжатии (гравитационная теплота), лишь частично расходуется на излучение, остальная часть идет на повышение температуры. То, что следствием потери энергии на излучение должно быть повышение температуры вместо ее понижения, звучит несколько парадоксально. Однако — это такой же парадокс, который заключался в утверждении, что скорость движущегося вокруг Солнца тела возрастает из-за сопротивления. Уменьшение потенциальной энергии при сокращении размера орбиты нейтрализовало сопротивление и увеличивало скорость движения. Закон Лейна дал теперь картину постепенной эволюции. В отношении Солнца она протекала следующим образом: из первоначальной холодной газовой массы в результате излучения и сжатия ее до все уменьшающихся размеров возник солнечный шар, температура которого все возрастала. Конечно, это протекало не совсем так. Ведь при сильном сжатии плотность становится настолько большой, что обычные законы газов здесь больше не действуют, следовательно, и закон Лейна также не соблюдается. Постепенно сжатие начинает затормаживаться и становится меньше; энергия сжатия уменьшается и становится недостаточной для возрастания температуры и даже для компенсации излучения. Следовательно, должно начаться охлаждение Солнца, которое в конце концов должно превратиться в маленькое, темное и холодное тело. Этот закон Лейна представлял собой первую теорию постепенной эволюции звезд и в продолжение многих десятилетий доминировал в представлениях астрофизиков.

Не случайно, что здесь появилась совершенно новая эволюционная идея, отличная от представлений XVIII в. Мы знаем, что идея эволюции уже была известна, но эволюция рассматривалась лишь как подготовительный этап к существующему конечному

состоянию, как развитие от варварства и невежества к обществу, соответствующему природе и разуму. Космологическим отражением этого представления о мире была теория Канта и Лапласа. Однако XIX в. внес идею непрерывного прогрессивного общественного развития. Промышленная революция, происшедшая в Англии около начала века, распространилась затем в соседних странах: Франции, Германии, потом в США и наконец повсюду. Она затронула все отрасли производства, в корне изменила все условия жизни, и вид мира теперь за полвека изменился больше, быстрее и глубже, чем за все предшествующие столетия, вместе взятые. Таким образом человеческий ум стал рассматривать обычный мир как процесс непрерывного развития, в котором невозможно было обнаружить ни конца, ни цели. Это новое представление вскоре стало проявляться во всех теориях. Уже философия Гегеля объясняла мир как диалектический процесс развития Абсолютной Идеи, [проходящий в непрерывных противоречиях]. В биологию вошло учение о развитии видов от низших форм ко все более высоко организованным. После опубликования в 1859 г. работы Чарлза Дарвина «Происхождение видов» оно получило всеобщее признание. Идея развития получила физическую формулировку в клаузиусовском втором начале термодинамики, по которому все автономные процессы в природе шли в одном направлении и энтропия вселенной могла только возрастать, никогда не уменьшаясь. [Механическая энергия превращалась в тепло, а не наоборот. Теплота всегда переходила от более теплого тела к более холодному и таким образом, все более рассеивалась и выравнивалась в пространстве.] Физики иногда формулировали этот закон таким образом: энтропия вселенной стремится к максимуму. Этот максимум достигается при таком состоянии, когда вся механическая энергия превращается в тепло и температура повсюду выравнивается. Мир будет состоять из рассеянной туманности, в которой будут одни только молекулярные движения. В этой физической картине конца все же не было учтено всемирное тяготение, которое действует как раз противоположно рассеиванию материи туманности. В соответствии с результатами Лейна она должна была собраться в небольшие плотные небесные тела с высокой и все растущей температурой. Так, процесс эволюции вселенной должен был сопровождаться увеличением разности температур вместо их выравнивания.

Теперь идея эволюции приобретала все большую роль и в астрономии. Она учила повсюду во вселенной видеть процесс развития. В ряде теоретических исследований 1879—1880 гг. Джордж Дарвин, сын великого биолога, столкнулся с приливным трением как важным фактором эволюции. Было общепризнано, что Земля и Луна первоначально были мягкими и деформировались из-за взаимного притяжения, вызывающего приливы. Если бы трения не существовало и Земля сразу же могла бы принять форму фигуры равновесия, то горбы максимального прилива обходили бы вокруг Земли за сутки, наблюдаясь в тех местах, где Луна находилась точно в зените (или надире). Из-за внутреннего трения этот ход приливных горбов замедляется. Горбы следуют за Луной на некотором расстоянии, тянутся за ней, или, иначе говоря, вращающаяся Земля тянется за горбами. Тогда притяжение между горбами высокого прилива и Луной оказывает замедляющее действие на вращение Земли, а часть момента вращения передается Луне, расширяет ее орбиту и увеличивает период ее обращения.

Проследив этот процесс в обратном направлении до самого раннего периода, Дарвин нашел, что первоначально период вращения Земли вокруг оси и период обращения Луны вокруг Земли были равны между собой и заключены между тремя и пятью часами. Эти тела были повернуты друг к другу всегда одной и той же стороной и почти соприкасались. Как только Земля из-за охлаждения немного сжалась, а следовательно, стала вращаться быстрее, обращение Луны стало отставать от вращения Земли, и начало действовать приливное трение, которое на столь малом расстоянии было огромным. Вращение замедлялось, Луна удалялась, сутки и месяц становились длиннее, причем месяц увеличивался быстрее, и наконец период обращения Луны стал равен 29 суткам. После этого день ото дня началось укорачивание месяца, пока в месяце не оказалось $27^1/_3$ дня. С течением времени периоды вращения и обращения опять сравняются и будут равны пятидесяти пяти нашим суткам. Земля и Луна будут находиться при этом на большом расстоянии друг от друга, обращенные друг к другу всегда одной и той же стороной (правда, только теоретически, так как практически приливное действие Солнца все это нарушит).

На вопрос о том, как могло случиться, что ближайший к Марсу спутник стал завершать свое обращение меньше, чем за марсианские сутки, удалось ответить Мультону. Он показал, что под приливным действием Солнца вращение самой планеты могло замедлиться, в то время как спутник был слишком мал и на нем это действие практически не сказалось.

Наиболее интересным было начальное состояние системы Земля — Луна, к которому Дарвин пришел при помощи обратного вычисления. Оно показало, что первоначально Земля и Луна составляли одно тело, которое потом разделилось на две весьма неравные части. В дополнение к этим рассуждениям французский теоретик Анри Пуанкаре провел в 1885 г. исследование о равновесии и устойчивости вращающейся жидкой массы[1]. Еще в

XVIII в. (1740 г.) Маклорен установил, что сплюснутость жидкой сферы возрастает с увеличением скорости ее вращения. В 1834 г. Якоби из Кенигсберга доказал, что сплюснутый эллипсоид вращения, такой как Юпитер и Земля, не является единственно возможной фигурой равновесия вращающейся жидкости. Другая фигура есть эллипсоид с тремя совершенно различными осями. Пуанкаре доказал, что при постепенно ускоряющемся вращении (например, в результате сжатия) эллипсоид вращения становится неустойчивым и превращается в трехосный эллипсоид, который наконец также теряет устойчивость. Тогда сбоку возникает перетяжка, как бы отделяющая небольшой кусочек от остального целого. Если период солнечных приливов, который, конечно, был равен периоду вращения, совпадает с периодом собственных колебаний такого шара (по предположению, заключавшегося между тремя и пятью часами), тогда деформирующие воздействия должны непрерывно возрастать, а это развитие должно было закончиться катастрофой. Таким образом Дарвин объяснил, как тело Земли разделилось на два неравных тела. [Этот вопрос был важен также и для теории образования двойных звезд.] Теория Дарвина послужила отправным пунктом для рассмотрения дальнейшей эволюции под действием приливных сил.

Эти исследования внесли первые основанные на точном научном анализе взгляды в космогонию, в этот старый загадочный и увлекательный вопрос о возникновении ныне существующего мира. Позднее Джинс, в ряде опубликованных в 1922 г. исследований по космогонии, подтвердил эти результаты и распространил их на более общие случаи газообразных небесных тел с различным распределением плотности. Кроме того, он нашел, что в случае очень быстрого вращения большой массы разреженного газа в двух противоположных точках экватора возникают истечения, образующие две спиральные ветви, в которые изливается избыток материи. Не было ли это ключом к объяснению образования спиральных туманностей?

Во всех этих космогонических исследованиях наиболее примечательно то, что ни один результат неприменим к случаю, который нас более всего интересует — возникновение планетной системы при этом оставалось необъясненным. Неоднократный критический анализ различных сторон показал, что оно не могло произойти так, как излагалось в теории Канта и Лапласа. Ведь из полного момента количества движения системы на обращение Юпитера, составляющего всего 0,001 массы системы, приходилось 60% и лишь 2% — на вращение Солнца вокруг оси. Момент количества движения первоначальной туманности не мог в таком соотношении распределиться между внешней областью и сжатой центральной основной массой. Приливное трение Солнца также не могло

передать малому телу столь большой момент вращения Солнца. Мультон и Чемберлин из Чикаго пришли к заключению, что тот большой момент количества движения, который содержится в обращении планет, не мог принадлежать первоначальной туманности, а должен был быть привнесен в систему извне. В соответствии с этим Мультон и Чемберлин совместно разработали теорию, по которой планеты возникли в результате того, что вблизи Солнца прошла другая звезда. Своим притяжением она вызвала извержение вещества из Солнца. Эта выброшенная материя сконденсировалась сначала в обращающиеся около Солнца тельца, «планетезимали», которые позднее при столкновениях постепенно слились в планеты. Это объясняло высокую температуру твердых недр Земли.

Позднее катастрофическая теория возникновения планетной системы (с некоторыми видоизменениями в деталях) нашла сторонников в лице Джинса, Эддингтона и многих других астрономов. При этом Джинс указал, а Эддингтон согласился с ним, что столь тесные сближения двух звезд вследствие разделяющих их больших расстояний крайне редки. Возможно, что второго такого случая у миллионов звезд нашей галактической звездной системы не произойдет. «Вычисление показывает, что даже после того, как звезда проживет миллионы миллионов лет, вероятность того, что она будет окружена планетами, составит примерно 1 : 100000» (Джинс) [2].

Следовательно, наша планетная система, возможно, единственная во всем мире. Таким образом, и Земля как место обитания разумных существ — единственная во вселенной: «...ни одна из множества звезд, входящих в мириады звездных облаков, не видит событий, сравнимых с теми, которые происходят под лучами Солнца» (Эддингтон) [3].

Это поразительное заключение, конечно, не следует рассматривать как твердо установленный научный факт. Хотя вероятность возникновения планетной системы по Джинсу и была бесконечно малой, так что в этом случае планетные системы должны были представлять собой весьма редкое явление во вселенной, предположенная гипотеза не исключала и других возможных путей возникновения планетных систем и развития на них высокоорганизованной и разумной органической жизни. Однако сторонники этой гипотезы, несмотря на все слабости, объявили ее весьма вероятной и стали рассматривать не только как научную гипотезу, но, более того, как новое научное мировоззрение.

Представление об особом, исключительном положении человека во вселенной издавна было тесно связано с религией. Именно поэтому учение Джордано Бруно о множественности обитаемых миров было воспринято церковниками резко враждебно, ведь оно

подрывало основную догму христианства, исходившую из особого положения человека во вселенной. Однако по мере развития науки идея множественности обитаемых миров получала все большее распространение и в XVII—XIX вв. стала неотъемлемой частью научного материалистического мировоззрения. [Мнение о том, что чуть ли не все небесные тела населены разумными существами, получило широкое распространение. Все звезды рассматривались как солнца, вокруг которых обращаются планеты, носители высокоорганизованной жизни. Однако развитие астрофизических наблюдений с применением современных методов (спектроскопического, фотометрического и фотографического, а в последнее время и радиоастрономического) показало, что вопрос о множественности обитаемых миров не так прост, как казалось ранее. Анализ физических условий, необходимых для развития органической жизни, проведение которого стало возможным лишь со второй половины XIX — начала XX вв., привел к заключению, что не всякое небесное тело пригодно для жизни. Таким образом, в настоящее время вопрос о множественности обитаемых миров претерпел значительные изменения. Хотя общее положение о том, что наша планетная система вообще и Земля в частности не являются единственными во вселенной, остается по-прежнему в силе, число миров — носителей жизни и разума — сильно сократилось. Теперь исследователи не торопятся «населять» изучаемые ими небесные тела разумными существами до тех пор, пока не выяснится, что физические условия на этих мирах совместимы с условиями, необходимыми для развития органической жизни[4].]

ГЛАВА 37

СОЛНЦЕ

Что такое Солнце? Старому представлению, которое рассматривало Солнце как небесное тело, состоящее из чистого света и огня, был нанесен удар, когда телескопы обнаружили солнечные пятна в чистом «оке мира». По аналогии с расплавленным металлом их стали сравнивать со шлаками. Однако черное, как смоль, ядро пятен постепенно привело к мысли о темном теле Солнца, окруженном океаном огня, [точно так же, как Земля окружена океаном воды]. Лаланд считал, что пятна представляют собой вершины гор, возвышающиеся над огненным океаном. Но в 1774 г. Александр Вилсон из Глазго заметил, что когда солнечные пятна правильной круглой формы при вращении Солнца подходили близко к краю солнечного диска, кольцо окружающей ядро полутени расширялось на внешнем крае и сужалось или исчезало с внутреннего края, наподобие скатов ямы. Таким образом оказалось, что солнечные пятна являются углублениями, отверстиями в светлой оболочке, через которые становится видимой темная поверхность Солнца.

В. Гершель заимствовал эту идею и расширил ее в статье 1795 г. до предположения, что темный шар Солнца весьма благоприятен для обитания живых существ. Плотный слой облаков защищает их от жгучих лучей расположенного над ними огненного океана. Здесь вспоминается аристотелевское учение о расположении четвертого элемента, огня, над воздухом. Гершель приводил доказательства против того, что жар может опалить расположенную внизу темную поверхность. Он говорил: «На достаточно высоких вершинах гор... мы всегда находим участки, покрытые льдом и снегом. Теперь, если сами солнечные лучи передали все тепло, которое мы находим на этом небесном теле, они должны были бы быть самыми горячими там, где их ход меньше всего прерывается. Опять же, все наши аэронавты подтверждают, что в верхних слоях атмосферы холодно...». Для объяснения этого явления Гершель полагал, что нижние слои атмосферы и темная поверхность Солнца не способны подвергаться какому-либо особому воздействию его лучей. Следовательно, он мог найти сходство Солнца с другими телами планетной системы, которое «приводит

нас к предположению, что оно весьма вероятно, так же как и остальные планеты, населено живыми существами, органы которых приспособлены к особым условиям этого обширного небесного тела». (W. Herschel, Scientific Papers, I, p. 480). В первой половине XIX в. представление о темном ядре Солнца стало общепринятым. Это показывает, насколько познания в физике отставали тогда от высокого уровня астрономических знаний. Только с появлением учения об энергии проложил себе дорогу более глубокий взгляд, и тогда во второй половине века знания о Солнце стали быстро увеличиваться.

В первое время приходилось ограничиваться теми методами, которыми пользовались и раньше, лишь более систематизированно, широко и настойчиво. Основой этого было наблюдение солнечных пятен. В 1826 г. аптекарь Швабе из Дессау начал систематически наблюдать и регистрировать солнечные пятна, надеясь найти малую планету внутри орбиты Меркурия. Однако он, по его собственным словам, как Саул, отправившись на поиски ослов своего отца, нашел королевство. При сравнении своих записей за многие годы он открыл в 1843 г. (и опубликовал это в 1851 г.), что число солнечных пятен периодически изменялось. В 1828 и 1829 гг. точно так же, как и в 1836—1839 гг., Солнце ни на один день не оставалось без пятен, тогда как в 1833 и 1843 гг. в течение половины всех дней наблюдений на нем не было пятен. В 1828 г. Швабе насчитал на Солнце в целом 225 пятен, а в 1833 г.— всего 33. В 1837 г.— 333, в 1843 г. лишь 34 пятна. Следовательно, минимумы и максимумы повторялись примерно через 10 лет.

Рудольф Вольф, сначала в Берне, а позднее в Цюрихе, смог проследить это изменение по историческим материалам прошлых столетий. Он нашел среднее значение периода в $11^1/_9$ года, но с весьма неправильными изменениями то в 7, то в 17 лет. Неоднократно предпринимались попытки установить связь этих периодов с планетами (т. е. показать, что планеты должны играть роль сил, воздействующих на появление солнечных пятен), но всегда безуспешно. Силы, вызывавшие появление солнечных пятен, безусловно, заключались в самом Солнце.

Еще более примечательным было опубликованное также в 1851 г. открытие Ламонта — шотландца, работавшего в Мюнхене. Он установил, что нерегулярные нарушения покоя магнитной стрелки, т. е. магнитного поля Земли, попеременно то усиливаются, то ослабевают также с периодом в 10 лет. То же самое справедливо и для связанных с ними северных сияний. Себайн в Англии и Вольф в Берне сразу же констатировали совпадение обоих периодов.

Оказалось, что изменения магнитных бурь на Земле очень хорошо и точно следуют изменению солнечных пятен и что даже

появление отдельных больших пятен на Солнце сопровождается магнитными бурями и северными сияниями на Земле. Таким образом, здесь проявилось глубокое влияние на земные явления происходящих на Солнце возмущений, которые мы наблюдаем в виде солнечных пятен.

Более важным, чем простой счет солнечных пятен, было определение их положений и движения. [При этом хорошую службу сослужил метод проектирования изображения Солнца на экран.] Прежде всего (как и у планет) удалось провести точное исследование вращения Солнца вокруг оси. Кэррингтон из Редхилла, английский любитель астрономии, который ночами работал по программе меридианных наблюдений северных звезд, использовал дневные часы 1853—1861 гг. для точных измерений солнечных пятен. Кэррингтон нашел, что период вращения возрастает по мере удаления от экватора Солнца. Следовательно, пятна не могли быть участками твердого тела Солнца. Пятно, находящееся у экватора, завершало это обращение за 25,0 дней, на широте 20° за 25^d18^h, на широте 30° за 26^d11^h и на широте 45° за $27^d,5$. Но, правда, здесь пятна появлялись очень редко. Результаты Кэррингтона в 1860—1873 гг. были подтверждены работой Шперера, немецкого любителя астрономии из Анклама (Померания). Оба наблюдателя заметили тогда еще одну особенность. В годы обилия солнечных пятен они от года к году встречались все ближе к солнечному экватору, широта их уменьшалась в среднем от 25° до 10°. Затем на широте около 5° они исчезали, в то время как в высоких широтах, на 25°—30°, уже появлялись первые пятна нового цикла, которые в следующие годы становились еще многочисленней и переходили в более низкие широты.

Фотография, конечно, была применена к Солнцу сразу же после ее открытия. Причем, в противоположность другим небесным телам, как раз избыток света вызывал необходимость применения особых средств для быстрой моментальной съемки. Фотография получила применение прежде всего потому, что позволяла в любой день быстро и точно регистрировать все пятна, факелы и другие образования. По фотоснимкам можно было вывести количество, полную поверхность, форму, положение и движение этих образований. При этом интересное применение нашли фотографии, снятые одна за другой, когда Солнце немножко повернулось. При рассматривании их в стереоскоп Солнце выглядело как шар с высоко лежащими образованиями — факелами и глубже расположенными пятнами.

В 1858 г. в Кью был установлен фотогелиограф конструкции Варрена Деларю, позднее перевезенный в Гринвич, где с тех пор регулярно проводилось фотографирование и измерение изображений Солнца [1].

Наряду с этим, благодаря усовершенствованию техники фотографирования, началось изучение деталей пятен, так же как и грануляционной структуры поверхности фотосферы между пятнами. Здесь особенно отличился французский астроном Жансен из Медона, который в семидесятые годы прошлого века получал увеличенные детальные фотографии солнечной грануляции и пятен. [Конечно, здесь имело также значение и то, что на фотографиях детали получались менее резко, чем визуальные, но все же фотографии были документом. Визуальное изучение пятен, например, такое, которым занимался патер Секки (из Рима) в шестидесятых годах, имело, помимо всего, то преимущество, что наблюдатель мог проследить быстрые изменения с начала до конца.] Все же изменения пятен происходили в таких колоссальных масштабах, что здесь было не до тончайших деталей. Иначе обстояло дело с тонкой структурой мельчайших элементов солнечной поверхности — зерен или гранул.

В результате точного сравнения множества последовательных снимков Ганскому (Пулково) в 1905 г. удалось установить, что средняя продолжительность жизни отдельных гранул составляет 2—5 минут. Затем они распадаются и заменяются новыми.

До середины XIX в. круг изучавшихся на Солнце явлений ограничивался тем, что удавалось наблюдать на солнечной поверхности при помощи телескопов. Только в 1842 г., во время полного солнечного затмения, наблюдавшегося в южной Франции и северной Италии, внимание астрономов привлекли замечательные световые явления, которые принесли особую славу этим затмениям и, кроме того, стали важнейшим источником знаний: широко распростертый лучистый световой венец — корона и появлявшиеся то здесь, то там из-за края Луны розовые выступы — протуберанцы. Еще раньше, в 1733 г., Вассениус из Готенбурга (Швеция) описывал их как розовые облака, плавающие в атмосфере Луны. Протуберанцы постоянно упоминались даже в древнерусских летописях (например, во время затмения 1 мая 1185 г.): «Месяца Мания в 1 день, в звонение вечернее, бысть знамение в солнци: морочно бысть вельми, яко на час и более, и звезды видети, и человеком воочию яко зелено бяше, и в солнци учинися яко месяц, из рог его яко уголь жаров исхожаше: страшне бе видети человеком знамение божие»[2]. Во время затмения, наблюдавшегося в 1851 г. в Швеции, удалось установить, что протуберанцы принадлежат не Луне, а Солнцу, и что они представляют собой выступы тонкой розовой оболочки (хромосферы), окружающей Солнце со всех сторон. Во время затмения 1860 г., наблюдавшегося в Испании, впервые в большом масштабе была применена фотография для того, чтобы с несомненностью установить объективность всех этих световых явлений. С тех пор у астрономов вошло в обычай

регулярно при каждом затмении отправляться в любую страну или часть света, лежащую в узкой полосе полного затмения, для того чтобы в течение нескольких имевшихся в их распоряжении минут провести все наблюдения, которые всегда приносили так много поразительных открытий.

В 1859—1862 гг., благодаря трудам Кирхгофа и Бунзена, появился спектральный анализ. Он, так сказать, уже носился в воздухе. То, что двойная фраунгоферова линия D в желтой части солнечного спектра совпадала с яркой желтой эмиссионной линией любого пламени или источника света, содержавшего натрий,— было замечено Стоксом, Фуко, Ангстремом и другими. Вывод о том, что натрий должен быть на Солнце, стал очевидным. Так, Стокс писал, что свет определенной длины волны, который частички газа поглощают из света какого-нибудь источника, они затем излучают. Густав Кирхгоф (1824—1887), выдающийся физик-теоретик, тогда впервые дал твердые научные основы спектрального анализа. Он вывел, что для каждой определенной длины волны соотношения излучения и поглощения у всех тел — одно и то же; оно равно излучению «абсолютно черного тела» (поглощающего все падающее на него излучение). Это соотношение является непрерывной функцией температуры и длины волны. Раскаленный газ, поглощающий в какой-нибудь определенной длине волны, порождает резкую темную линию в спектре источника. Он сам будет излучать в той же самой длине волны. Значение фраунгоферовых линий солнечного спектра стало теперь совершенно ясным: они указывали на присутствие на Солнце поглощающих свет частиц. Кирхгоф измерил в произвольной шкале положение нескольких тысяч фраунгоферовых линий в спектре Солнца и установил их совпадение с эмиссионными линиями десятков земных элементов. Отсюда он смог сделать заключение, что эти химические элементы встречаются в атмосфере Солнца, где они поглощают определенные длины волн в непрерывном спектре, излучаемом телом Солнца. В 1868 г. Ангстрем ввел для этих линий вместо произвольной шкалы Кирхгофа естественную шкалу длин волн. Использованная им единица, равная одной десятимиллионной миллиметра, осталась в употреблении и позднее была названа его именем. В этих единицах (ангстремах) обычные длины волн выражались числами из четырех цифр (красные лучи 6500 Å, зеленые 5000 Å, фиолетовые 4000 Å).

Спектральный анализ раскрыл удивительную возможность, которая незадолго до этого считалась совершенно невероятной: он позволил установить химический состав далеких, недоступных небесных тел. Французский философ-позитивист Огюст Конт писал в 1835 г. в своем «Cours de philosophie positive» («Курсе

позитивной философии») о небесных телах: «Мы представляем себе возможность определения их форм, расстояний, размеров и движений, но никогда, никакими средствами мы не сможем изучить их химический состав, их минералогическое строение, природу органических существ, живущих на их поверхности». И несколькими страницами дальше: «Я остаюсь при своем мнении, что любое знание истинных средних температур звезд неизбежно должно быть навсегда скрыто от нас»[3]. Здесь обнаружилось (точно так же, как уже случалось с Декартом и Гегелем), насколько должна была ошибаться философия, когда она пыталась выдумать и представить себе результаты или даже методы естествознания. Ее задачей является только использовать полученные естественными науками результаты как материал для построения своей теории познания.

Эти новые открытия, конечно, принесли с собой и новые представления о Солнце. Мысль о холодном и темном солнечном ядре стала теперь совершенно невозможной. Кирхгоф считал Солнце раскаленным шаром очень высокой температуры, окруженным менее горячей атмосферой, содержащей земные элементы в газообразном состоянии. Солнечные пятна он считал более холодными облаками в этой атмосфере. Кирхгоф очень верно говорил, что темный цвет пятен должен свидетельствовать только о более низкой температуре и что часто высказывамое мнение о возможности возникновения этого цвета из-за меньшей излучательной способности масс газа в глубоких слоях противоречит установленному им закону. Однако вскоре это мнение встретило возражение, сначала со стороны Секки и Джона Гершеля в 1864 г., которые и ядро также считали газообразным, а непрерывный спектр приписывали конденсированным тонким капелькам или частичкам, которые плавали в газовой атмосфере наподобие облаков. Эксперименты показали, что сильно сжатый газ также дает непрерывный спектр. Несмотря на то, что в 1869 г. физик Эндрюс открыл «критическое состояние», т. е. тот факт, что любое вещество при температуре выше определенной, «критической», не может больше оставаться жидким, а должно быть лишь газообразным, теория облаков все еще находила многих приверженцев. «Почти невозможно сомневаться в том, что фотосфера представляет собой слой облаков»[4] — писал Юнг еще в 1882 г. в своей книге «The Sun» («Солнце»). Патер Секки, а также французский астроном Фай в разработанной ими теории Солнца, исходили из представления о газе, находящемся в состоянии сильного внутреннего сжатия. Фай говорил, что на месте солнечных пятен происходят истечения нагретого газа к поверхности, которые разрывают облачный покров. Все же эта гипотеза не совпадала с утверждением Кирхгофа о том, что солнечные пятна холоднее окружающей фотосферы. Фая поразили наблюдавшиеся в пятнах вихри, которые он сравнивал с земными торнадо.

Установление того, какого типа атомы проявляются в спектре небесного тела,— само по себе очень просто. Для этого требуется лишь наблюдение точного совпадения спектральных линий или же равенство точно измеренных длин волн. Благодаря высокому развитию искусства изготовления инструментов и техники обработки стекла вскоре удалось организовать производство все более совершенной спектральной аппаратуры для самых разнообразных целей и обстоятельств. При этом фотография, которая, кроме того, сделала доступной всю ультрафиолетовую область между 4000 Å и 3000 Å, все больше стала занимать место визуального наблюдения, и «спектрографы» стали все более вытеснять спектроскопы.

Выдающимся достижением в этом развитии было изготовление Г. А. Роуландом из Балтиморы в 1887 г. вогнутых решеток. Вогнутое металлическое зеркало создает резкое изображение щели, причем свет не проходит через линзы. На такое вогнутое зеркало наносилась сетка из тонких параллельных штрихов (100 000 штрихов на протяжении 10 сантиметров), из-за чего возникал дифракционный спектр (или, вернее, ряд таких спектров), с большой дисперсией и высокой разрешающей силой. Многие годы Роуланд разрабатывал конструкцию машины, которая бы с полной точностью автоматически наносила на металл штрихи, расположенные на совершенно равных расстояниях друг от друга. При этом были получены спектры, которые в течение десятков лет оставались непревзойденными.

При помощи этой решетки Роуланд сфотографировал спектр Солнца и издал эти снимки в 1888 г. в виде атласа в масштабе 3 *мм*/Å. В таком масштабе весь спектр от 3000 Å до 6900 Å представлялся полосой длиной в $13^1/_2$ метра. Он содержал в себе более 20 000 фраунгоферовых линий, начиная с очень сильных, имевших вид черных, темных полос, до едва заметных тоненьких линий. На основании измерения снимков Роуланду удалось в 1896 г. составить каталог этих линий с их длинами волн (до 3 десятичных знаков, следовательно, из семи цифр) и числами, характеризующими значение интенсивности. Эту образцовую работу и до сих пор использует каждый астрофизик. Роуланду удалось также установить существование на Солнце тридцати шести земных элементов. В последующие годы благодаря пересмотру, проведенному в 1928 г. Сент Джоном на Маунт Вилсон, это число возросло до пятидесяти одного. После этого особым достижением явилось опубликование в 1940 г. Миннартом и его сотрудниками Утрехтского фотометрического атласа солнечного спектра, где вместо спектра с линиями давалась идущая по всему спектру кривая

интенсивности. Таким образом, стало возможным составить представление не только о положении, но также и о ширине и распределении интенсивности, о характере и форме профиля каждой линии. На рис. 55 показан прогресс наших знаний солнечного спектра.

Теперь перейдем к первым применениям в XIX в. метода спектрального анализа к изучению явлений на Солнце. Понятно, что во время первого солнечного затмения после открытия и распространения спектрального анализа все внимание было направлено на то, чтобы выяснить физическую природу только что открытых протуберанцев и короны. С этой целью многие наблюдатели отправились со своими спектроскопами в Индию на затмение 18 августа 1868 г. Все, с небольшими отклонениями в деталях, установили, что спектр протуберанцев состоит из нескольких ярких эмиссионных линий. Следовательно, эти образования представляли собой самосветящуюся газовую массу. Были отождествлены красная и зеленая линия водорода (чаще всего обозначаемые как H_{α} и H_{β}, совпадавшие с C и F линиями Фраунгофера), а также желтая линия, которую сначала считали линией D натрия (так как она была очень близка к ней), а позднее обозначили D_3. Эта линия не была известна по каким-либо земным спектрам и ее стали приписывать особому, встречающемуся только на Солнце газу, получившему название «гелия».

Сильные эмиссионные линии были настолько яркими, что один из наблюдателей затмения в Индии, Ж. Жансен, сразу понял, что для их получения совершенно нет необходимости в темноте, наступавшей во время затмения. На следующий день он установил щель своего спектроскопа вплотную к краю незатмившегося Солнца и без труда смог наблюдать линии протуберанцев при полном дневном свете. В течение нескольких недель он провел еще ряд таких наблюдений, «эквивалентных затмению, продолжительностью в 17 дней», как он сообщал в Академию Наук в Париж; «Я составил карты протуберанцев, которые показывают, с какой скоростью (иногда за несколько минут) эти колоссальные массы газа изменяют свою форму и положение» [5]. Примерно в то же время Локьер в Англии проделал то же самое. Он уже за два года до этого пришел к мысли, что протуберанцы действительно должны состоять из светящегося газа, следовательно, они должны давать светлые эмиссионные линии. Эти линии можно сделать видимыми в обычные дни, если непрерывный солнечный спектр сильно ослабить достаточно высокой дисперсией. Если бы мастер, изготовлявший заказанный им инструмент, не заставил так долго себя ждать, Локьер мог бы сделать свое открытие задолго до затмения. Теперь открытия обоих астрономов были сообщены в 1868 г., на одном и том же заседании Парижской академии наук.

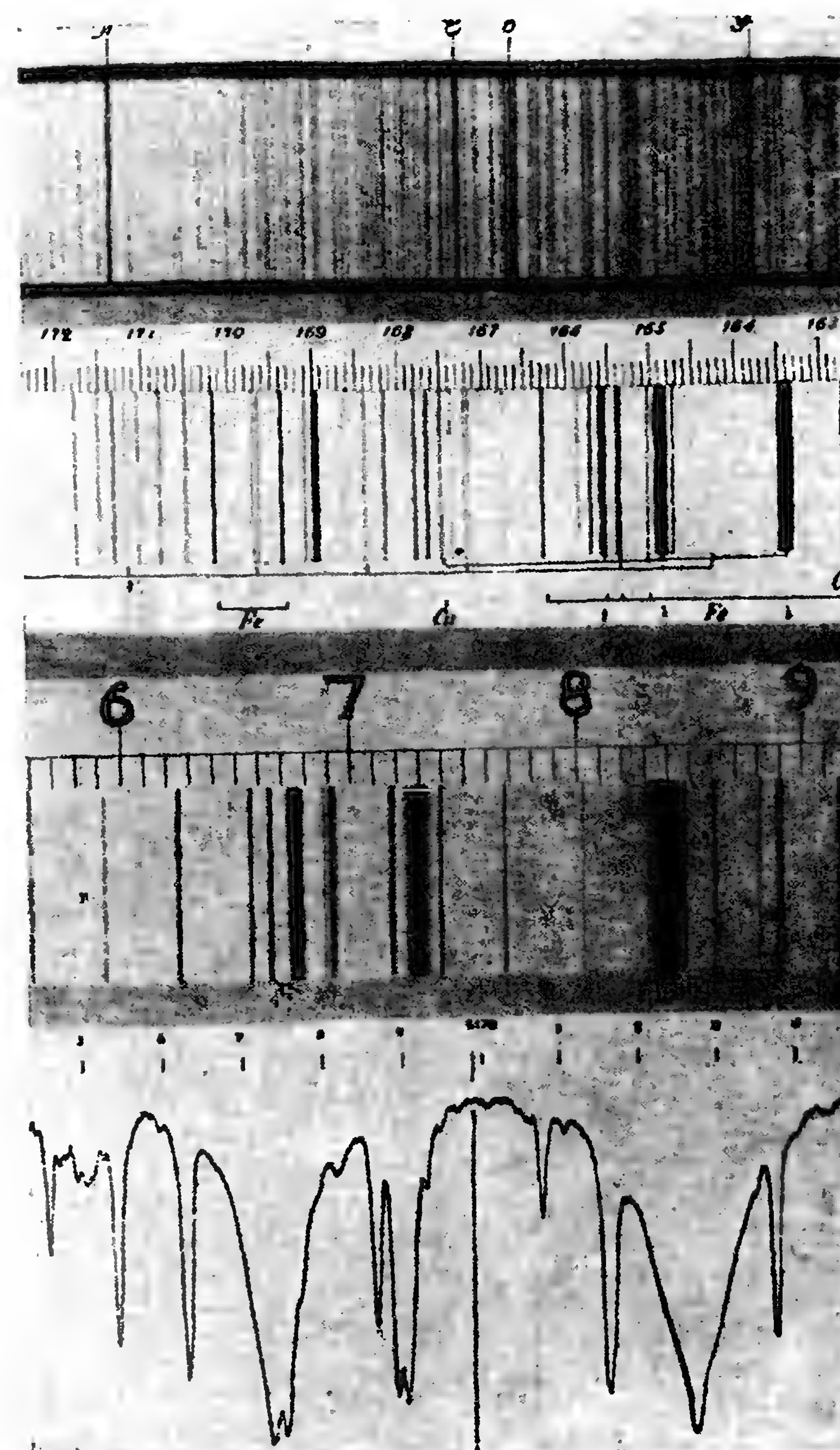


Рис. 55. Области солнечного спектра. Сверху вниз: Фраунгофер, Кирхгоф, Роуланд, Утрехтская обсерватория. Длины волн возрастают справа налево на верхнем рисунке и слева направо — на остальных.

Для того чтобы изучать спектр протуберанцев, больше не требовалось ждать затмений; это можно было сделать в любой день. Кроме того, перемещая щель по изображению протуберанца, можно было определить его форму. Вскоре еще лучше (как это впервые было сделано Хеггинсом) удалось при помощи очень широко раскрытой щели наблюдать весь протуберанец и следить за его быстрыми изменениями, если только дисперсия, т. е. ослабление непрерывного спектра фона, достаточно велика. Отныне на различных обсерваториях наблюдения протуберанцев стали обычным занятием, таким же регулярным, как и наблюдение пятен [6]. Особенно важным нововведением было то, что удалось заметить и установить быстрые движения протуберанцев и изменения их формы. Оказалось, что их было много в годы максимумов солнечных пятен, на тех же самых широтах, что и пятна, по протуберанцы все же встречались и на всех других широтах, вплоть до полюсов. По форме и характеру можно выделить два основных типа протуберанцев: «спокойные», которые казались розовыми облаками, свободно плававшими в атмосфере Солнца, и «эруптивные», которые выбрасывались на колоссальную высоту, как огненные фонтаны, и рассеивались или всасывались вниз, в пятна. Иногда неподвижные, как спокойные облака, протуберанцы внезапно, как бы под порывом штормового ветра, рассеивались бурным вихрем. Чарующая картина, особенно благодаря сознанию того, что все это происходит в масштабе десятков тысяч километров и со скоростями в сотни километров в секунду! На эти громадные скорости указывали смещения линий на щелевых спектрограммах. Все эти явления представляли собой новые проблемы. Они способствовали появлению идеи о том, что извержения являются причиной солнечных пятен.

Во время затмения 1870 г. в Испании Юнг открыл в слабом непрерывном спектре короны яркую зеленую линию с длиной волны, определенной сначала в 5315 Å, но впоследствии оказавшейся равной 5303 Å. Оказалось, что эта линия не встречается ни в одном из известных спектров. Второй неизвестный солнечный элемент был назван «коронием». Расположив щель своего спектрографа по касательной вплотную к солнечному краю, Юнг увидел в момент покрытия последнего краешка Солнца Луной бесчисленное множество вспыхнувших эмиссионных линий, исчезнувших через несколько секунд, когда Луна закрыла и тот тоненький слой, который их испускал. Это выглядело так, как будто бы все темные фраунгоферовы линии солнечного спектра обратились в светлые линии. Этот слой (толщиной в 1″, что соответствовало 500 километрам!) назван «обращающим слоем», при прохождении сквозь него (благодаря поглощению) и возникают фраунгоферовы линии. В следующие годы тот же самый наблюдатель вне

затмения и в спокойном воздухе высоких вершин американских гор (Маунт Шерман) более детально исследовал линии, возникающие в спектре хромосферы. Большинство из них оказалось линиями металлов, относительная интенсивность которых часто была иной, чем во фраунгоферовом спектре. Наиболее яркие из этих линий появлялись также у эруптивных протуберанцев. У спокойных протуберанцев спектр показывал только линии водорода, линию гелия D_3 и несколько неизвестных линий, которые позднее, в 1895 г., были выявлены на Земле Рамзаем в спектре газообразного гелия, выделенного из минерала клевеита.

Само собой разумеется, что вскоре здесь была применена фотография, которая вытеснила непосредственное наблюдение. В фотографическом спектре протуберанцев и хромосферы Хеггинс в 1875 г. впервые открыл замечательно правильно располагавшийся ряд линий, которые (как продолжение в ультрафиолет четырех визуальных водородных линий от H_α до H_δ) все плотнее примыкали друг к другу и наконец сливались у границы с длиной волны около 3700 Å. Кроме того, были обнаружены две фиолетовые линии, совпадавшие с линиями H и K кальция с длинами волн 3968 Å и 3934 Å. Они оказались наиболее сильными из всех эмиссионных линий.

[Методы фотографического наблюдения принесли с собой и свою аппаратуру, имевшую определенную целенаправленность.] При этом особенно плодотворными оказались наблюдения затмений с призматической камерой конструкции Локьера. Джозеф Норман Локьер (1836—1920) был служащим военного министерства в Лондоне и лишь свободное время мог посвящать своему любимому занятию астрономией. Таким образом мы должны называть его астрономом-любителем. Но в то же время он был первоклассным специалистом. [Впрочем, такая комбинация весьма обычна в Англии. Вильям Гершель, Лассель, лорд Росс, В. Хеггинс — все они были в этом смысле любителями. В Англии уже издавна класс крупных землевладельцев, богатых коммерсантов, а впоследствии также и фабрикантов привык, не ожидая ничего от правительства, во всем полагаться на собственную инициативу. Они учреждали и содержали на свои пожертвования библиотеки и университетские кафедры, а если чувствовали склонность к астрономии, то конструировали свои собственные инструменты и сами проводили исследования.]

Локьер сконструировал «призматическую камеру», т. е. поместил призму перед объективом. При этом вместо одного изображения самосветящегося объекта можно было получить множество не очень близко лежащих друг к другу его изображений, имеющих вид эмиссионных линий в спектре этого источника света. Каждое изображение по форме соответствовало распределению атомов,

испускавших эти линии. Сфотографировав Солнце точно в момент наступления полной фазы, когда обращающий слой наблюдался в виде «вспышки», обнаружили, что в свете водородных линий и линий H и K появились все протуберанцы.

Зеленая корональная линия давала изображение в виде широкого слабо светящегося кольца, резко ограниченного внутри краем темного диска Луны. Во время затмения 1893 г. были получены первые несовершенные снимки, которые показали, что через несколько секунд после начала полной фазы линии металлов обращающего слоя не наблюдаются, а присутствуют только дуги водородных гелиевых и H и K линий. После 1896 г. призматическая камера стала систематически использоваться при каждом затмении. [Не давая возможности полностью изучить спектр хромосферы, она позволяла наглядно увидеть распределение различных типов атомов и их излучений на разных высотах.] Еще лучшие результаты были получены Митчеллом, использовавшим в 1905 г. вместо призмы решетку Роуланда [для получения спектра только что затмившегося Солнца. Этот метод при последующих затмениях давал все более точные результаты.]

Кроме полного спектра хромосферы теперь повсюду изучалась также корона, которую не удавалось наблюдать вне солнечных затмений. Несмотря на все попытки, спектральные линии короны не удавалось сделать видимыми при полном солнечном свете. Примечательно, что при каждом следующем затмении открывали все новые многочисленные линии. Наряду с постоянными наиболее яркой зеленой линией и линиями в красном и фиолетовом участках спектра, было обнаружено и много других линий, различных для разных затмений. Однако происхождение всех их оставалось загадкой. Только что открытые линии приписывали неизвестному элементу «коронию», но оставалось сомнительным, следует ли соглашаться с увеличением числа «корональных» элементов.

Регулярное фотографирование протуберанцев привело к новому методу их исследования. Яркие линии водорода или кальция были видны не только за пределами солнечного края, но также и в различных областях сильных возмущений на солнечном диске, главным образом вблизи солнечных пятен. Они появлялись здесь как яркие, узкие эмиссионные линии в центре широких, темных линий поглощения. Считалось, что эти линии возникают из-за того, что в верхних слоях атмосферы Солнца находятся светящиеся газовые массы. В 1890—1891 гг. Деландр в Париже и Дж. Е. Хэл в Чикаго несколько различными путями сконструировали инструмент, получивший название «спектрогелиограф». В нем щель спектрографа скользила вдоль изображения Солнца, а вторая неподвижная щель, поставленная позади призмы, пропускала только одну эмиссионную линию и давала изображение

Солнца в свете этой линии. Такие снимки Солнца в свете одной длины волны были получены сначала в Чикаго и на Йеркской обсерватории. Для проведения более глубоких исследований Хэл основал «Солнечную обсерваторию» на Маунт Вилсон (впоследствии ограничительное слово «солнечная» было опущено). Систематическое изучение таких снимков, главным образом в свете K-линии кальция и водородных линий H_α, а иногда и H_γ, обнаружило обилие замечательных образований, особенно около солнечных пятен, напоминающих спиральные ветви, завитки и вихри, иногда связывавшие два соседних пятна кривыми, похожими на магнитные силовые линии вокруг двух магнитных полюсов.

Спектр солнечных пятен (ядро которых кажется черным только по контрасту, а в действительно излучает сильный свет), конечно, был объектом многочисленных исследований. Уже в 1866 г. Локьер нашел, что более темный цвет возникает из-за того, что большинство фраунгоферовых линий становится темнее и появляется множество новых тонких линий поглощения. Детальное их исследование было невозможно без более совершенных инструментов. После 1920 г. такие фотографии с высокой дисперсией были получены на обсерватории Маунт Вилсон. Каталог спектральных линий солнечных пятен был опубликован Шарлоттой Мур в 1933 г. По своей полноте этот каталог приближался к каталогу солнечного спектра Роуланда. При детальном их сравнении ясно выступили интересные различия, особенно в интенсивности линий. Так называемые «высокотемпературные» линии металлов в спектре пятен были слабее, чем в спектре фотосферы, тогда как «низкотемпературные» линии в спектре пятен усиливались. Кроме того, появилось много сильных полос, принадлежавших различным молекулам. Все это ясно показывало, что области пятен имеют более низкую температуру, чем фотосфера.

В середине большинства линий металлов спектра пятен эмиссионная линия разделяла темную на два компонента. Предполагалось, что они носят такой же характер, что и яркие эмиссионные линии в центре линий водорода и H и K, т. е. испускаются высоко лежащими слоями горячего газа. Однако в 1908 г. Хэл на Маунт Вилсон открыл, что все это следует объяснять совершенно иначе, а именно как магнитное раздвоение линий из-за эффекта Зеемана. Оба компонента оказались поляризованными по кругу в противоположных направлениях. Это доказывало, что в области солнечных пятен действовали сильные магнитные поля. Замечательно, что два соседних пятна, следующих одно за другим в солнечном вращении, которые в свете линии H_α часто имели противоположные направления в структуре вихрей, всегда обнаруживали также и противоположные магнитные поля. Еще более замечательным было то, что последовательность полярностей

такой пары в северном полушарии была обратной южному, что в некоторой степени аналогично земным циклонам, имеющим противоположные направления вращения к северу и югу от экватора. [Это сразу же выявило найденную при помощи спектрогелиографа спиральную структуру силовых линий.] Вихревые вращения электрически заряженных частиц — электронов и ионов, которые возбуждали эти магнитные поля, должны были, по мнению Хэла, иметь у соседних, связанных друг с другом пятен, противоположные направления, как будто бы они были выходящими на поверхность противоположными концами одной и той же вихревой трубки, лежащей в глубине. Эти открытия породили новые проблемы и новые точки зрения. Они получили еще более удивительный аспект, когда после минимума солнечных пятен в 1912 г. оказалось, что у заново возникающего ряда солнечных пятен полярность северного и южного полушарий стала противоположной прежней. Во время наступившего затем минимума 1922 г. произошло новое изменение. Таким образом, следует сказать, что действительный период солнечных пятен, особенно в отношении повторения их магнитных и вихревых явлений, составлял не 11 лет, а 22 года.

Так, благодаря длинному ряду упорных исследований и поразительных открытий было накоплено огромное богатство знаний о Солнце. Все же этот период можно назвать лишь донаучным этапом развития солнечной физики. В течение полувека после открытия спектрального анализа астрофизика находилась еще на той же ступени развития, что и прежняя астрономия в период до Кеплера и Ньютона. Она состояла в накоплении фактов и данных, которые не были основаны на прочной теории. Выдающиеся исследователи каждый раз выдвигали новые теории Солнца для того, чтобы объяснить только что открытые явления. Однако, по сути дела, они часто основывались на примитивных представлениях своего времени. Наряду с этим остроумные теории выдвигали и лица, стоявшие в стороне от науки, такие как Август Шмидт (Германия) и А. Брестер (Голландия). Исходя из идеи Шмидта, утрехтский физик В. Г. Юлиус (1900 г.) дал объяснение фраунгоферовых и хромосферных линий на основании аномальной дисперсии при сильном изгибании лучей. Однако во всех этих попытках совершенно отсутствовала уверенность в непреложности принципов, на которых они строились.

Все это относится не к астрономии, которая не могла экспериментировать со своими объектами, а к физике. Для того чтобы астрофизика смогла стать наукой, теоретическая физика должна была сначала разработать вполне надежную и совершенную теорию излучения. Этого удалось достигнуть только в XX в. При этом пришлось так основательно перевернуть весь фундамент физики, что, как часто говорят, для какого-либо ученого-физика в 1890 г. не только были бы совершенно непонятны физические законы, выведенные на 30 лет позднее, но даже употреблявшиеся термины показались бы ему чужим, непонятным языком.

Развитие началось с установления общих законов излучения. Еще в 1870 г. они были в такой степени неопределенны, что Секки нашел температуру солнечной поверхности в несколько миллионов градусов, тогда как физик Пуйе пришел к выводу, что она меньше 2000°. Оба результата были получены на основании почти одной и той же экспериментально найденной величины количества солнечного излучения, но в первом случае предполагалось, что излучение возрастает прямо пропорционально температуре, а во втором случае — по экспоненциальному закону. В 1879 г. австрийский физик Стефан на основании точных измерений в большом диапазоне температур вывел, что полное излучение пропорционально четвертой степени абсолютной температуры. В 1884 г. Больцман дал строгое теоретическое доказательство этого закона. Следуя по тому же самому пути, В. Вин в 1893 г. вывел, что в излучение абсолютно черного тела входит только одна неизвестная функция, которая меняется с изменением температуры таким образом, что длина волны этого излучения достигает максимальной интенсивности, обратно пропорциональной температуре. Оба закона установили эффективную температуру солнечной поверхности примерно в 6000°. Наконец, в 1906 г. эти законы дополнились формулой излучения Макса Планка, который вывел излучение абсолютно черного тела как функцию температуры и длины волны. Эта формула получила известность не столько сама по себе, сколько потому, что для вывода ее Планку пришлось предположить, что энергия может излучаться и поглощаться не непрерывным потоком, а лишь конечными порциями — «квантами». Планковская теория «квантов» действия в дальнейшем наложила свой отпечаток на всю физику.

В исследовании закономерностей монохроматического излучения атомов, наблюдаемого в виде эмиссионных линий элементов, также удалось добиться огромных успехов. В 1885 г. И. И. Бальмер из Базеля опубликовал знаменитую формулу для определения длин волн четырех известных водородных линий. Их удалось точно представить, умножая число 3645,6 на $^9/_5$; $^{16}/_{12}$; $^{25}/_{21}$ и $^{36}/_{32}$, т. е. на дробь $n^2/(n^2-4)$, где буквой n обозначалась последовательность чисел: 3, 4, 5, 6. Полученные Хеггинсом и Дрэпером снимки правильного ряда ультрафиолетовых линий в спектрах Веги и хромосферы Солнца по своим особенностям и численным значениям полностью соответствовали этой формуле (при $n = 7, 8, 9$ и т. д.). Длины волн линий уменьшались с уменьшением интервалов между ними, постепенно сближаясь до тех пор,

пока совсем не сливались у предельной длины волны 3645,6 А. После этого Кайзер и Рунге, а впоследствии — еще более удачно — Ридберг вывели однотипные, но немного более сложные формулы для расчета серий спектральных линий других элементов. Спектры элементов имели много закономерностей и численных соотношений. Дублеты, триплеты, квадруплеты и другие мультиплеты, в которые группировались линии, зависели от положения элементов в периодической системе. Однако строение атомов не было еще достаточно хорошо известно для того, чтобы из этих соотношений можно было вывести свойства атомов. Как говорили в то время, спектры были ответом природы на неизвестный человеку вопрос.

Посредством света, улавливаемого нашими инструментами, небесные тела издалека передавали нам информацию о состоянии, в котором находились там атомы. Однако эти сообщения были закодированы, а мы не могли их расшифровать, не имея ключа.

В 1913 г. Нильс Бор предложил модель атома, основанную на экспериментальных данных Резерфорда 1911 г.[7]. Она явилась ключом, при помощи которого физикам удалось разгадать код и расшифровать информацию, заключавшуюся в спектральных линиях. Дальнейшее развитие эксперимента и теории в течение следующих десятилетий превратило всю область строения спектра и соответствующего ему строения атома в неоспоримые владения науки. Действительно, любая эмиссионная линия или линия поглощения возникала при переходе между двумя атомными уровнями, и следовательно, волновое число (т. е. величина, обратная длине волны) выступало как разность двух «термов», характеризующих атом, причем каждый «терм» соответствовал иному атомному состоянию, с другой энергией. Сотни линий спектра свелись к нескольким десяткам «термов».

На основании этой теории атомных спектров фраунгоферовы линии могли дать информацию о процессах, сопровождавшихся изменением энергии атомов, т. е. о физическом состоянии звездных атмосфер. Спектр Солнца, конечно, никогда не давал сведений о внутренних слоях атмосферы, а всегда лишь о тех, которые испускали свет, попадавший в наши инструменты. Однако эта информация была полной. В 1905 г. Карл Шварцшильд (1873—1916), выступавший как пионер в этой и других областях, разработал теорию строения солнечной атмосферы. Она опиралась на учение о лучистом равновесии, которое рассматривало температуру в любой точке как результат излучения, получаемого со всех сторон. Излучение при этих высоких температурах представлялось основным механизмом теплообмена. При этом теория облачной фотосферы была окончательно отвергнута; температура и

плотность возрастали с глубиной. На этой основе Милн в 1921 г. и Эддингтон в 1923 г. дали полное теоретическое рассмотрение атмосферы Солнца как результата постепенного разрежения плотных и горячих более глубоких слоев Солнца. Непрерывный спектр и фраунгоферовы линии представлялись теперь как сложное сочетание глубоких и поверхностных слоев атомов. Прежние практические различия между фотосферой, обращающим слоем и атмосферой оказались не качественными, а лишь количественными.

Теперь можно было взяться и за изучение структуры фраунгоферовых линий. То, что прежде называлось «линией» некоторой длины волны, практически имело еще ширину и определенное строение. Теория установила, что изменения атомных состояний происходили не только при излучении, но и при поглощении (как предположил еще Стокс), а также и при столкновениях. В этом случае атомам передавалась энергия теплового движения (выражаемая законом излучения Кирхгофа), а все соседние длины волн принимали участие в этих процессах. Следуя предложенной Унзольдом в 1927 г. физической теории, в тридцатые годы удалось постепенно вычислить и объяснить распределение интенсивности в профилях линий Фраунгофера. Так появилась возможность на основании интенсивностей линий вывести физические условяи в солнечной атмосфере: температуру, давление, ионизацию и обилие различных элементов. При этом был обнаружен поразительный факт, что число атомов водорода в солнечной атмосфере во много тысяч раз превосходило общее число всех атомов металлов.

Каково происхождение непрерывного спектра Солнца? Около 1870 г. казалось, что на этот вопрос может ответить облачная теория, а около 1910 г. подобные надежды возлагались на представления о плотных газах, находящихся под высоким давлением. Однако теперь это объяснение встретило большие трудности. Стало известно, что излучение атома является следствием определенного перехода с одного атомного уровня на другой. При этом переходе возникали строго определенные линии, их образование сопровождалось изменением энергии. В 1939 г. Рупперт Вильдт отметил, что обычные атомы водорода иногда могут присоединять к себе один лишний электрон и снова освобождать его. В поглощении и испускании необходимого для этого количества энергии участвовали все длины волн, наблюдаемые в солнечном спектре. Это — сравнительно редкие процессы, но так как атомов водорода значительно больше, чем атомов металлов, эти процессы все же могли играть важную роль. Примечательно, что равномерное распределение цветов в солнечном спектре, являющееся источником любого света и цвета на Земле, также возникает в резуль-

тате этого второстепенного и, собственно, случайного атомного процесса.

Теперь, около 1930 г., астрономы могли сказать, что природа Солнца известна в главных чертах и следует лишь добавлять детали. Однако неисчерпаемо богатая природа вновь удивила нас неожиданными явлениями. Выше мы говорили о том, что на Маунт Вилсон уже в течение десятков лет ежедневно проводилось фотографирование Солнца при помощи спектрогелиографа. Несмотря на большое документальное значение фотография была все же механическим занятием — отупляющим регистрированием. При визуальном же наблюдении можно было непосредственно видеть то, что происходило в любой момент. Хэл не был доволен этим инструментом. В 1926 г. он сконструировал по аналогии со спектрогелиографом и в качестве дополнения к нему «спектрогелиоскоп». Этот новый метод наблюдения привел в следующие годы к открытию внезапных извержений на Солнце. Вспышки излучения водорода (главным образом, в беспокойном соседстве с солнечными пятнами) продолжались около десяти минут, а затем, через полчаса, исчезали. Тогда вспомнили, что Кэррингтон без спектроскопа уже в 1859 г. наблюдал яркую звездоподобную вспышку, которая продолжалась всего 5 минут. Он описал ее как явление большого метеора, упавшего на Солнце. Еще более поразительный факт был обнаружен в 1933 г., когда одновременно с «затуханием» вспышки на Солнце произошло затухание коротковолновых радиосигналов. Таким образом, излучение этих водородных вспышек на Солнце сильно ионизовало верхние слои воздуха. Это было еще одно новое воздействие солнечных возмущений на Землю, добавившееся к уже известному магнитному влиянию. Какова же была его причина?

Более того были обнаружены некоторые явления, не укладывавшиеся в общую картину. Присутствие линии ионизованного гелия в спектре хромосферы указывало на то, что здесь излучение происходило со значительно большей ионизующей силой, чем это могло быть при нормальном излучении солнечной поверхности с температурой в 6000°[8]. Эмиссионные линии хромосферы были слишком широки для того, чтобы соответствовать этой температуре; они указывали на большую скорость частиц, т. е. на более высокую температуру порядка 30 000°. В непрерывном спектре короны, представлявшем собой отраженный частицами солнечный спектр, фраунгоферовы линии не были видны. Не могли ли они размываться из-за очень быстрого движения? После того, как Лио в 1930 г. удалось тщательно исключить все паразитное рассеяние света, создаваемое дифракцией, неоднородностями стекла объектива, пылинками на нем и атмосферой, яркие корональные линии стали наблюдать и вне затмения. Таким образом, теперь

можно было спокойно исследовать ширину этих линий. Оказалось, что она соответствует скоростям, требующим температуры в миллионы градусов. Это казалось невероятным. Однако в 1941 г. тайна «корональных» линий была раскрыта. Следуя указанию Гротриана, шведский физик Бенгт Эдлен установил, что наиболее сильные эмиссионные линии испускали атомы 9-, 10- и 13-кратно ионизованного железа, 11- и 12-кратно ионизованного кальция и от 11- до 15-кратно ионизованного никеля. Для отрыва такого количества прочно сидящих электронов были необходимы температуры во много сотен тысяч или миллионы градусов. Таким образом оказалось, что Солнце, температура поверхности которого составляет 6000°, окружено весьма протяженной, разреженной атмосферой горячих газов. Этот разреженный газ едва ли добавлял что-либо к полному излучению Солнца, но он давал весьма активное, сильно ионизованное излучение очень короткой длины волны. То, как это нагревание сверху влияло на возмущающие процессы в протуберанцах, оставалось предметом дальнейшего исследования.

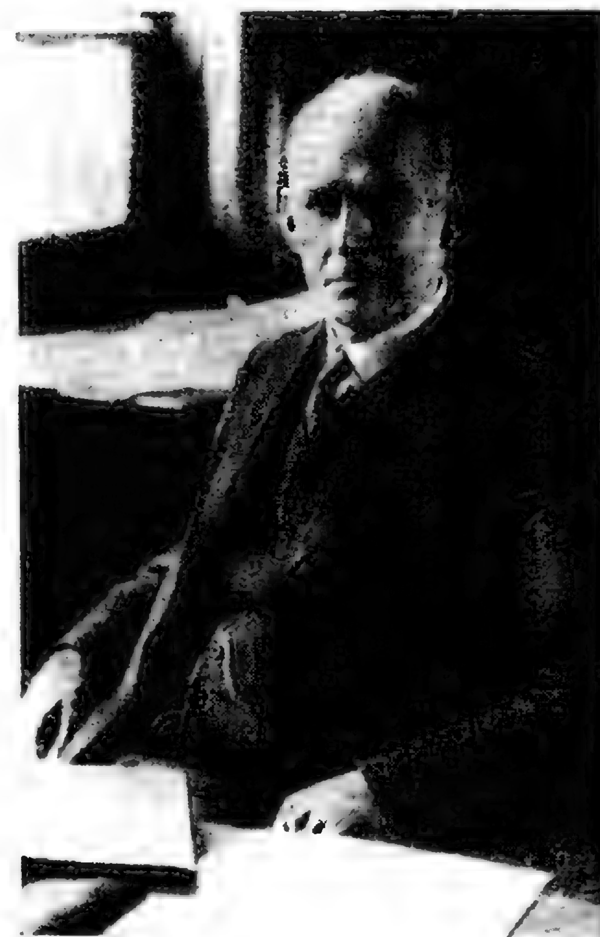


Рис. 56. Артур Эддингтон.

Полный ответ на вопрос о том, что такое Солнце, должен был включать в себя и знание о его недрах. Значительные успехи в этой области были достигнуты около 1920 г. на основе упоминавшегося выше открытия точных законов излучения. В 1878—1883 гг. немецкий физик А. Риттер предпринял попытку изучить внутреннее строение Солнца при помощи теоретического расчета. Однако исходный пункт его рассуждений был неудовлетворителен из-за того, что раздел физики, трактующий об излучении, тогда еще не существовал. Р. Эмден в 1907 г. построил общую численную теорию равновесия газовых шаров в пространстве, которую он пытался применить к Солнцу и звездам. Однако он не располагал иным механизмом для переноса тепла, кроме проводимости и конвекции, поэтому его результаты оказались не удовлетворительными. И все же Эмден смог

дать хорошее объяснение гранул, наблюдающихся на поверхности Солнца, которые он рассматривал как элементарные вихри в восходящих и нисходящих потоках. То, в чем ошибались Риттер и Эмден, со временем было выяснено А. С. Эддингтоном (1882—1944). В 1916 г. он начал ряд теоретических исследований, продолживших работу Шварцшильда о лучистом равновесии и использовавших вычисления Эмдена. Здесь впервые физическое состояние материи в любой точке внутри Солнца вычислялось как функция ее расстояния от центра. Это состояние характеризовали: температура, плотность, давление, степень ионизации и коэффициент поглощения. Полученные значения казались фантастическими: в центре Солнца температура достигала 18 миллионов градусов, а давление — 9000 миллионов атмосфер! Все же они основывались не на фантастических, а на вполне надежных вычислениях. Это не означало, что они были окончательными и абсолютными. В таких исследованиях всегда оставался некоторый произвол в подборе исходных данных, которые приходилось вводить несколько упрощенно. Материю, находившуюся при таких экстремальных условиях, не удавалось наблюдать непосредственно. Она не была нам подвластна, так как это превышало наши экспериментальные возможности. Однако теперь эта материя стала предметом научного исследования, потому что вызываемые ею эффекты проявлялись реально на Солнце и звездах.

ГЛАВА 38

КОМЕТЫ И МЕТЕОРНЫЕ ТЕЛА

Аристотель расположил огонь в самой высокой сфере в нашем непрочном земном мире и поместил там все световые явления, которым из-за своей изменчивости не полагалось находиться в небесной области вечного эфира. Здесь его интуиция не так уж сильно расходилась с последующими научными данными. Он называл «метеорами» все то, что находилось высоко над нами. [«Luchtverhevelingen», «воздушные испарения» — так стали переводить это слово в старых голландских популярных книжонках, которые одарили нас множеством терминов подобного рода.] Однако позднее это название ограничилось несколькими группами явлений, особенно теми, которые с древности назывались «падающими звездами».

В течение долгого времени эти явления не привлекали внимания ученых. В прежние века думали, что они представляют собой один из видов молний. Для того чтобы начать изучение сущности этих явлений, следовало ответить на первый вопрос: где они находятся, где воспламеняются и угасают эти маленькие падающие светила? В последние годы XVIII в. два юных немецких исследователя (еще студенты Геттингена) Бенценберг и Брандес занялись этим вопросом. Они попытались решить его при помощи одновременного наблюдения из двух различных, удаленных друг от друга пунктов. Одновременность, установленная в результате тщательной сверки часов, должна была гарантировать идентичность наблюдающихся ими объектов. Затем, на основании видимых траекторий, различно проектирующихся среди звезд в обоих пунктах, можно было вычислить высоту этого тела в пространстве. Вскоре наблюдатели заметили, что эти высоты значительно больше, чем они ожидали, и составляют не несколько сотен или тысяч метров, а десятки и даже сотни километров, так что им пришлось выбрать для наблюдений более удаленные друг от друга пункты. Падающие звезды появляются и исчезают в атмосфере выше облаков и даже выше слоев, получивших в настоящее время название «стратосферы». Хотя продолжительность полета метеора трудно оценить, оказалось, что на таких расстояниях от поверхности Земли реальные скорости могут доходить до десятков километров в секунду и становятся сравнимыми со скоростями планет.

Явление метеора, следовательно, вызывается частицами — метеорными телами, которые вторгаются в атмосферу извне и из-за сопротивления воздуха теряют скорость и загораются. Одно время Бенценберг думал, что метеоры могли быть камешками, которые в древнейшие времена были выброшены при извержении тогда еще действовавших вулканов на Луне. После этого они долго носились в пространстве, пока не были захвачены Землей. То, что метеоры приходят из весьма далеких пространств солнечной системы, окончательно выяснилось в 1833 г., когда в ночь с двенадцатого на тринадцатое ноября разразился великолепный звездный дождь. По всей Северной Америке он представлял собой захватывающее зрелище — огненную бурю с градом бесчисленного множества больших и малых звезд. Казалось, что все они вылетали из одной определенной точки неба в «голове Льва». Эта «точка радиации» (радиант) перемещалась вместе со звездным небом в течение всей ночи, следовательно, она не была связана с Землей. Олмстед из Нью-Хевена сразу же объяснил это как влияние эффекта перспективы на поток параллельно движущихся космических частиц, [столкнувшихся с Землей и воспламенившихся в земной атмосфере]. Поскольку в те же самые дни предыдущего, 1832 г. также было замечено большое число падающих звезд, Олмстед предположил, что это облако маленьких частичек за полгода описывает орбиту вокруг Солнца. Таким образом, каждый раз через год Земля встречала их на том же самом месте. Тогда вспомнили, что Александр Гумбольдт в начале своего путешествия по Южной Америке в ночь с одиннадцатого на двенадцатое ноября 1799 г. в Кумане также наблюдал и описал такой звездный дождь. В своем описании этого явления Гумбольдт упоминал сообщения старожилов о том, что такой же метеорный дождь наблюдался около 30 лет назад. Так как в годы, следующие за 1833 г., эти ноябрьские метеоры, названные по своему радианту «Леонидами», стали все менее обильными. Ольберс в 1837 г. высказал предположение, что через 34 года, т. е. в 1867 г., прекрасный звездный дождь «Леонид» должен повториться. Эрман в Берлине выдвинул теорию, что эти метеоры описывают орбиту вокруг Солнца примерно за год. Она пересекала земную орбиту в том месте, где Земля находилась 13 ноября. Хотя рой метеоров и распределен по всей орбите, но все же наиболее плотно они скапливались в одном месте. Так как плотный рой встречает Землю 18 ноября каждые 33 года, то время его обращения может быть $1 + 1/33$ или $1 - 1/33$ года, либо 33 года. [В любом из этих случаев «Леониды» должны наблюдаться каждый год, когда Земля проходит через ту же самую точку, а плотный рой — через 33 года.] Весьма многочисленны также и падающие звезды, которые наблюдаются ежегодно около 10 августа. Точка, откуда все они

вылетали, или «радиант», находилась в северной части созвездия Персей (отсюда и название «Персеиды»). Однако здесь распределение частиц по всему кольцу орбиты было значительно более равномерным.

То, что ноябрьские метеоры в прежние века наблюдались как звездные дожди, было выяснено в 1864 г. Г. А. Ньютоном (Нью-Хевен) на основании множества собранных им исторических сообщений. Однако примечательно, что звездные дожди обнаруживались все в более ранние даты, по мере отступления в прошлое, вплоть до 31 октября 902 г. Это указывало на то, что точка пересечения с земной орбитой, т. е. узел орбиты метеоров, продвигался по долготе вокруг Солнца на 1° за 70 лет. Когда Дж. К. Адамс применил к метеорным потокам формулы небесной механики, выяснилось, что это смещение орбиты действительно можно целиком объяснить притяжением планет, при периоде обращения в 33 года, но не в случае малых орбит с периодом около года. Таким образом, в 1867 г. было твердо установлено, что поток Леонид описывает орбиту вокруг Солнца за 33 или 34 года. Так как известно направление, в котором он встречает Землю, то можно вычислить все элементы его орбиты.

Еще в 1866 г., до того как это стало известно, Скиапарелли другим способом вычислил орбиту августовских метеоров (Персеид) [1]. Каждый раз регулярно отмечалось, что падающие звезды после полуночи значительно обильнее, чем вечером. Это вполне естественно, так как вечером частицы, обгоняющие Землю в ее движении по орбите, оказываются позади нее, а утром — впереди. Тогда-то главным образом Земля и захватывает частицы, носящиеся в мировом пространстве. По отношению численности утренних и вечерних метеоров удалось вывести, что метеоры движутся со скоростью, в 1,4 раза большей, чем Земля. Это соответствовало движению по параболе. Таким образом, Скиапарелли принял, что поток Персеид движется почти по параболе. Теперь при помощи радианта можно было вывести размеры и положение орбиты потока. Скиапарелли показалось, что эта орбита полностью совпадала с орбитой яркой кометы, которая появилась в 1862 г. (так называемая комета 1862 III) и прошла через перигелий 23 августа. Вычисленный период ее обращения составлял 119 лет.

Такой результат сразу же привел к новой точке зрения. Это означало, что кометы и метеорные потоки, собственно говоря, одно и то же. Метеорный поток издалека представляется кометой, а комета при встрече с Землей оказывается потоком метеоров. Раньше, ожидая столкновения Земли с кометой, боялись катастрофы. Теперь было найдено успокоительное решение, что этот рой камешков не может причинить большого зла и должен проявлять-

ся в защищающей нас воздушной оболочке лишь как фейерверк звездных дождей [2].

Между тем в 1866 г. повторился предсказанный Ольберсом и Г. А. Ньютоном звездный дождь «Леонид», почти такой же сильный, как и в 1833 г., а в 1867 и 1868 гг. плотный рой падающих звезд снова наблюдался 13—14 ноября. Скиапарелли и Леверье вычислили орбиту, и она оказалась практически идентичной орбите кометы 1866 I, открытой Темплем. Она прошла через перигелий 11 января, и Оппольцер вычислил ее период обращения, равный 33 годам. Хотя орбиты и совпадали, объекты оказались различными. Метеоры, которые Земля встречала в ноябре, были осколками, двигавшимися на 10 месяцев позади кометы.

Постепенно обнаружилось еще большее сходство между орбитами комет и метеорных потоков. Падающие звезды, довольно регулярно появлявшиеся около 20 апреля с радиантом в созвездии Лиры («Лириды»), имели ту же самую орбиту, что и комета 1861 I. Еще более замечательно то, что метеоры, в большом количестве появлявшиеся около 6 декабря из радианта вблизи звезды ν Андромеды (наблюдались в 1798 г. Брандесом и в 1838 г. Хейсом), оказались связанными с кометой Биелы, упоминавшейся на стр. 394. Она была открыта в 1826 г. и имела период в 6,8 года. Эта комета при своем возвращении в 1846 г. разделилась на два ядра и после 1852 г. больше не наблюдалась. Тогда предположили, что это деление явилось началом полного распада кометы. Однако в течение многих лет стали наблюдаться в конце ноября обильные метеоры из созвездия Андромеды. При вычислении возмущений выяснилось, что узел кометной орбиты, а следовательно и дата встречи с ней, быстро отступали назад. Поскольку в 1872 г. комета снова должна была пройти вблизи Солнца и Земли, Галле предсказал на 28 ноября 1872 г. появление обильных метеоров — «Андромедид», которые действительно 27 ноября наблюдались над Европой как настоящий огненный дождь. В 1885 г. через два обращения, это явление повторилось с тем же самым великолепием. Комета, сама еще невидимая, но вычисленная, на 60 дней позднее столкнулась с Землей в виде роя метеоров. Однако 23—26 ноября 1892 г. наблюдалось уже лишь небольшое число метеоров этого потока.

Так прошли два десятилетия исследований этих «небесных фейерверков». В 1899 г. многие наблюдатели снова ожидали поток Леонид 14 ноября. Однако звездных дождей не было, хотя тогда, а также и в 1898 и 1901 гг. 14—15 ноября наблюдалось большое число падающих звезд из созвездия Льва. Вычисления Бербериха и Лаунинга показали, что из-за возмущений больших планет орбита метеоров сместилась, и теперь они прошли на расстоянии вдвое большем от Земли, чем раньше. Таким образом, на звездный

дождь из созвездия Льва нечего было больше надеяться. Это привело к заключению, что метеорный поток наблюдается в виде звездных дождей лишь при весьма исключительных обстоятельствах. Следовательно, подавляющее большинство метеорных потоков может описывать свои орбиты в солнечной системе, оставаясь незамеченными.

Конечно, из-за смещения орбит вследствие возмущений не наблюдавшиеся ранее потоки могли неожиданно появиться в виде новых звездных дождей.

Наблюдения падающих звезд на протяжении всего XIX в. оставались полем действия многочисленных любителей. Они состояли как из корреспондирующих наблюдений для измерения высот появления и исчезновения метеоров, так и из индивидуальных наблюдений для определения радиантов потоков. Деннинг в Бристоле на основании своих наблюдений, охватывавших многие годы, составил опубликованный в 1899 г. каталог 3000 радиантов, которые, конечно, соответствовали не всем действующим потокам; среди них оказались также отдельные бросающиеся в глаза болиды. Соотечественник Деннинга Оливер в 1920 г. составил список 1200 радиантов, половину которых он отнес к реальным потокам. Следовательно, каждую ночь среди «падающих звезд» встречалось некоторое количество метеоров, входящих в группы. [Однако одиночные (спорадические) метеоры составляли большинство.] Если учесть, что все издавна блуждавшие рои постепенно рассеивались вдоль орбиты, а также и за ее пределами, то не покажется удивительным, что наряду с многочисленными обедневшими, редкими потоками вблизи Земли значительно возрастало также и число спорадических метеоров. То, что пространство солнечной системы повсюду вплоть до Солнца заполнено такими частицами, стало ясно также по зодиакальному свету, который в 1683 г. впервые был упомянут Кассини как особое явление *. Его яркость убывала по мере увеличения углового расстояния от Солнца. В 1854 г. Брорзен отметил, что на расстоянии в 180°, точно против Солнца, было видно «противосияние» — слабое туманное облако, перемещавшееся вдоль эклиптики. Объяснение этого явления нашли в уже упоминавшемся результате Целльнера. Он установил, что все планеты точно в противостоянии обнаруживают резкий максимум яркости. По аналогии это можно было отнести также и к небольшим метеорам.

[Так как обычные визуальные наблюдения падающих звезд всегда давали большие ошибки, то и здесь также пришлось призвать на помощь фотографию.] На снимках звезд или малых планет часто обнаруживались штрихи метеоров, однако точный

*) Зодиакальный свет неоднократно описывался и раньше. (*Прим. ред.*)

момент их появления оставался неопределенным. Для того чтобы точно определить продолжительность и скорость полета, на Гарвардской обсерватории проводились опыты с быстро вращающимся перед камерой сектором, при помощи которого следы метеоров регулярно прерывались. Однако при этом объектом изучения были не сами метеоры, а слои земной атмосферы на высоте больше 50 *км*.

Установленная в XIX в. связь между метеорами и кометами, показала, что они приходят из мирового пространства за пределами планетной системы и что кометы состоят из весьма протяженных разреженных облаков малых и больших метеорных тел. Но все ли это, что можно о них сказать?

С кометами мы уже встречались несколько раз как с небесными телами, производившими глубокое впечатление. Они выглядели как большие звезды с длинным светлым придатком, который мы теперь называем хвостом, но который раньше сравнивался с волосами (название «комета» буквально и означает «волосатая» или «бородатая» *). Этот необычный вид — то сияющей тянущейся по небу светлой полосы, то призрачного факела, вместе с внезапным, неожиданным появлением и исчезновением после причудливого движения среди звезд, делал кометы в тревожные времена устрашающими явлениями. [Так было повсюду в конце средневековья и в начале нового времени.][3] Появление кометы Галлея в 1456 г., вскоре после падения Константинополя, из-за того, что она имела вид кривой сабли, рассматривалось как грозное предупреждение Европе о турецкой опасности. Даже после того, как Тихо показал, что кометы являются небесными телами, движущимися в мировом пространстве, страх перед ними все еще оставался. Он уменьшился только тогда, когда Ньютону и Галлею удалось вычислить орбиты комет и успешно предсказать их движение. Однако инстинктивное недоверие, возбуждавшееся всей их сущностью, оставалось вплоть до XIX в. Здесь оно получило новую форму в виде боязни столкновения Земли с одной из множества наблюдавшихся теперь комет. Большинство этих комет было и оставалось маленькими туманностями. Только большие яркие кометы, приближаясь к Солнцу, становились так называемыми «хвостатыми кометами».

Что представлял собой этот длинный светлый хвост и откуда он появлялся? Уже в 1531 г. «королевский математик» Бьеневитц (латинизированное имя «Аппиан») заметил, что хвосты комет всегда повернуты прочь от Солнца[4]. Кеплер в 1618 г. говорил, что отталкивательная сила Солнца уносит из головы кометы светящуюся материю. У большой кометы 1811 г. Ольберс при помощи своего телескопа увидел звездообразное ядро, окруженное на некотором расстоянии светлой параболической оболочкой, переходившей в хвост. Изгибающиеся и ниспадающие водяные струи фонтана также обнаруживают такие очертания. Так Ольберс увидел в светлой оболочке картину орбит светящихся частичек, которые выбрасывались из ядра и под действием отталкивательной силы Солнца загибались и устремлялись в хвост. При этом Ольберс уже указал, что различные отталкивательные силы могут вызывать появление хвостов разных видов: «Более длинный прямой хвост (кометы 1807 г.) необходимо должен состоять из частичек, которые отталкиваются Солнцем значительно сильнее, чем вещество, образующее искривленный хвост»[5]. Относительно же природы отталкивательной силы Ольберс сказал: «Трудно удержаться от мысли о некоторой аналогии с нашим электрическим притяжением и отталкиванием»[6].

При каждом следующем появлении большой кометы проводилось изучение их строения. Когда в 1835 г. вернулась комета Галлея, Бессель наблюдал истечения, направленные из ее ядра к Солнцу в форме светлого веера, который колебался из стороны в сторону с периодом в $4^1/_2$ дня, очевидно, под действием отталкивательной силы Солнца, Бессель вычислил эту отталкивательную силу и вывел отсюда искривленную форму хвоста. То, что хвост непрерывно обновлялся за счет материи, выбрасываемой ядром и отталкиваемой Солнцем, было обнаружено также и у яркой кометы 1843 г., которая была видна почти рядом с Солнцем. За два часа она прошла угол в 180° вокруг солнечной поверхности, а ее хвост при этом постоянно был направлен от Солнца. У великолепной кометы Донати (рис. 57), появившейся осенью 1858 г., было видно несколько светлых оболочек, следовавших одна за другой как истечения, выбрасываемые ядром. По мере удаления от ядра они расширялись и исчезали. Иногда светлый веер был связан с ядром. Таким образом, здесь четко выступали все наиболее существенные явления: истечение светлого вещества из ядра по направлению к Солнцу и отталкивательная сила Солнца. Московский астроном Ф. А. Бредихин, продолжив работу Бесселя, в результате непрерывного исследования, начатого с 1860 г.[7], более тщательно вычислил величину этой отталкивательной силы. [Он вывел зависимость этого отталкивания от формы, искривления хвоста и сравнил ее с наблюдавшимися формами кометных хвостов[8].] Так он нашел, что при отталкивании, в 15—20 раз большем притяжения, должны были возникать длинные тонкие прямые хвосты. При отталкивании, в 1—2 раза большем притяжения, появлялась наиболее хорошо известная форма кривой турецкой

*) [«Небесная труба, пробуждающая поутру, или комета с длинной бородой»,— гласило название одного сочинения Николая Мюллера из Франекера, посвященного комете 1618 г.]

сабли, а в случае преобладающего притяжения, т. е. для тяжелых частичек, возникали короткие, сильно изогнутые хвосты.

[При этом вопрос о физической природе отталкивательной силы Бредихин оставил нерешенным.] Чаще всего различные исследователи высказывались об электрическом отталкивании, так как другой отталкивающей силы тогда не знали. Однако в 1900 г.

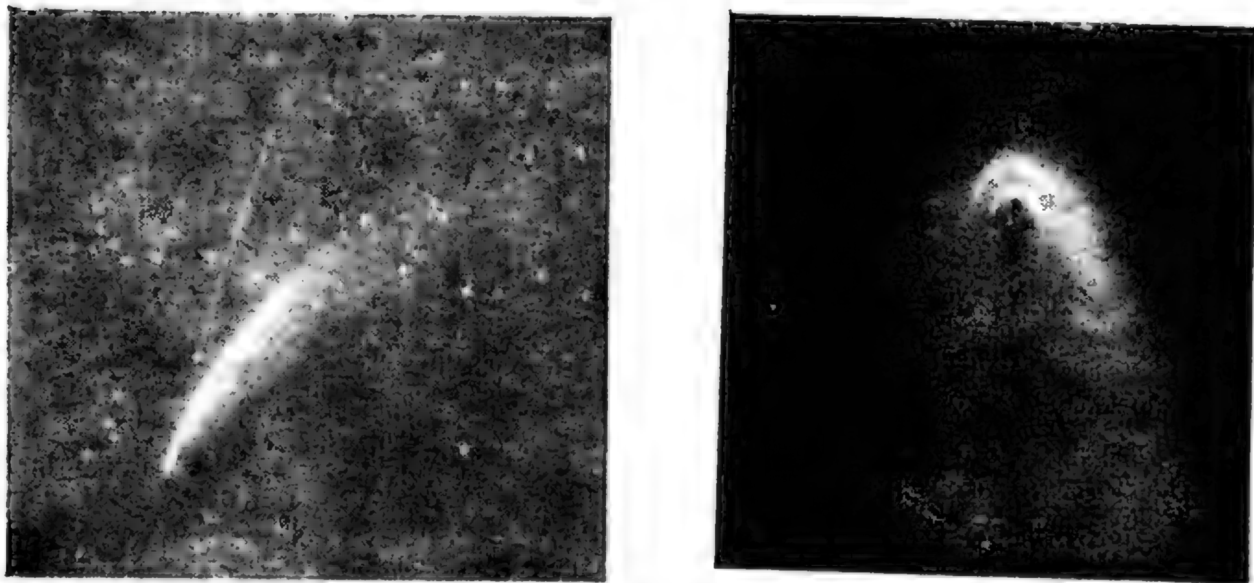


Рис. 57. Комета Донати. Справа — увеличенное изображение головы.

известный шведский химик Сванте Аррениус отметил, что здесь может играть роль световое давление, теоретически выведенное Максвеллом, а позднее подтвержденное также и экспериментально [9]. По расчету Шварцшильда, выполненному в 1901 г., световое давление для небольших частичек размером меньше микрона могло в 18 раз превосходить притяжение. Когда же оказалось, что у некоторых хвостов комет отталкивание еще значительно сильнее, Аррениус объяснил это тем, что такие частички пористы, как крупинки сажи, и могут иметь весьма большую поверхность при малой массе.

Неожиданно пришла на помощь фотография. Хотя фотограф-профессионал при помощи простой портретной камеры уже в 1858 г. сделал хороший снимок кометы Донати за 7 секунд, Дрэперу на хорошем телескопе все же понадобилось время экспозиции в $2^1/_2$ часа для получения удовлетворительного изображения большой кометы Теббутта (1881 III). Потребовалось, чтобы еще один фотограф-профессионал в Кэптауне портретной камерой получил прекрасный снимок кометы Крулса в 1882 г., прежде чем астрономы, наконец, поняли, что все здесь зависит не от линейного отверстия линз, а от их светосилы. Комета — не точечная звезда,

а слабо светящийся объект с большой поверхностью. Следовательно, для получения на пластинке достаточного воздействия света по всей поверхности отверстие должно быть большим по сравнению с фокусным расстоянием. Тогда начали употреблять портретные камеры и дублеты для фотографирования различных



Рис. 58. Комета Морхауза 29 сентября 1908 г.

слабых протяженных небесных объектов. На Ликской обсерватории Э. Э. Барнард получил таким образом снимки кометы Свифта 1892 г., а Дж. У. Хассей — кометы Рордама 1893 г. Хвосты комет, которые на глаз представлялись призрачными слабыми сияниями, ровными и едва различимыми, на пластинках (при достаточном времени экспонирования) получались в виде блестящих светлых факелов со множеством структурных деталей, с более яркими и более слабыми пятнами, которых раньше никогда не замечали и даже не подозревали о них. Эти или подобные им более поздние снимки, например кометы Морхауза (1908 г.), кометы Галлея (1910 г.), с тех пор воспроизводились во многих научных и популярных работах (рис. 58). Особенно важно то, что при сравнении снимков, полученных в следующие друг за другом дни, выяснилось, что яркие узлы в хвосте смещались в

направлении от ядра. На основании этого была найдена их скорость. У кометы Галлея 1910 г. Гебер Д. Кертис на Ликской обсерватории нашел, что скорость возрастает по мере удаления от ядра: от 5 или 10 до 90 *км/сек*. Таким образом здесь проявилось то самое исходящее на Солнце отталкивание, которое раньше было выведено на основании теоретического заключения (при изучении деталей тонкой структуры головы и ядра в сильно увеличивающие телескопы).

Все это можно было выяснить только при помощи спектрального анализа света, излучаемого кометами. Как раз в те же шестидесятые годы, когда стало известно, что кометы представляют собой рой метеоритных тел, началось и исследование их спектра. При этом выяснилось, что у слабых маленьких комет вдали от Солнца обнаруживается лишь слабый солнечный спектр. [Их рассматривали как рои твердых телец, просто освещаемых Солнцем.] Однако у больших комет, приближавшихся к Солнцу, где только и возникал хвост, появлялся, кроме того, спектр, состоявший из нескольких светлых полос, как это было замечено Донати уже в 1864 г. при наблюдении кометы Темпля. Хеггинсу удалось точно пронаблюдать и идентифицировать эти полосы у не очень яркой кометы 1868 I. Их было три: желтая, зеленая и синяя, все резко ограниченные с красного конца спектра и слабо спадающие к фиолетовому. Они точно совпали с полосами уже раньше описанного Сваном спектра углеводородов в электрическом разряде (рис. 59). Тогда Хеггинс заявил, что свет кометы в основном состоит из излучения «светящегося облака углерода». Уже было выяснено, что при разогреве метеорные тела выделяли газы: окись углерода, водород, углекислый газ и углеводороды. Таким образом стало понятно, что если метеорные тела подойдут ближе к Солнцу и разогреются под действием его лучей, то такие газы начнут испаряться и образуют вокруг ядра туманную оболочку — кому.

Дальнейшее усовершенствование инструментов и применение их ко всем вновь появлявшимся кометам в следующие десятилетия непрерывно пополняло знание новыми явлениями. Фотография обнаружила множество полос в ультрафиолетовой части спектра, где наиболее заметными были полосы циана — соединения углерода с азотом. У кометы Уэллса 1882 I было замечено неожиданное явление. Когда она проходила вблизи Солнца, полосы в спектре кометы исчезли и заменились единственной эмиссией — двойной желтой линией натрия. У большой сентябрьской кометы 1882 г.[10], после того как она почти вплотную подошла к солнечной поверхности, также была замечена эта линия натрия, а кроме того, множество линий железа. Однако когда комета удалилась от Солнца, их снова заменили известные полосы кометного

спектра. Позднее такие кометы, как 1910 I[11] и большая, наблюдавшаяся при дневном свете комета 1927 IX, также давали эмиссию натрия при прохождении вблизи Солнца[12].

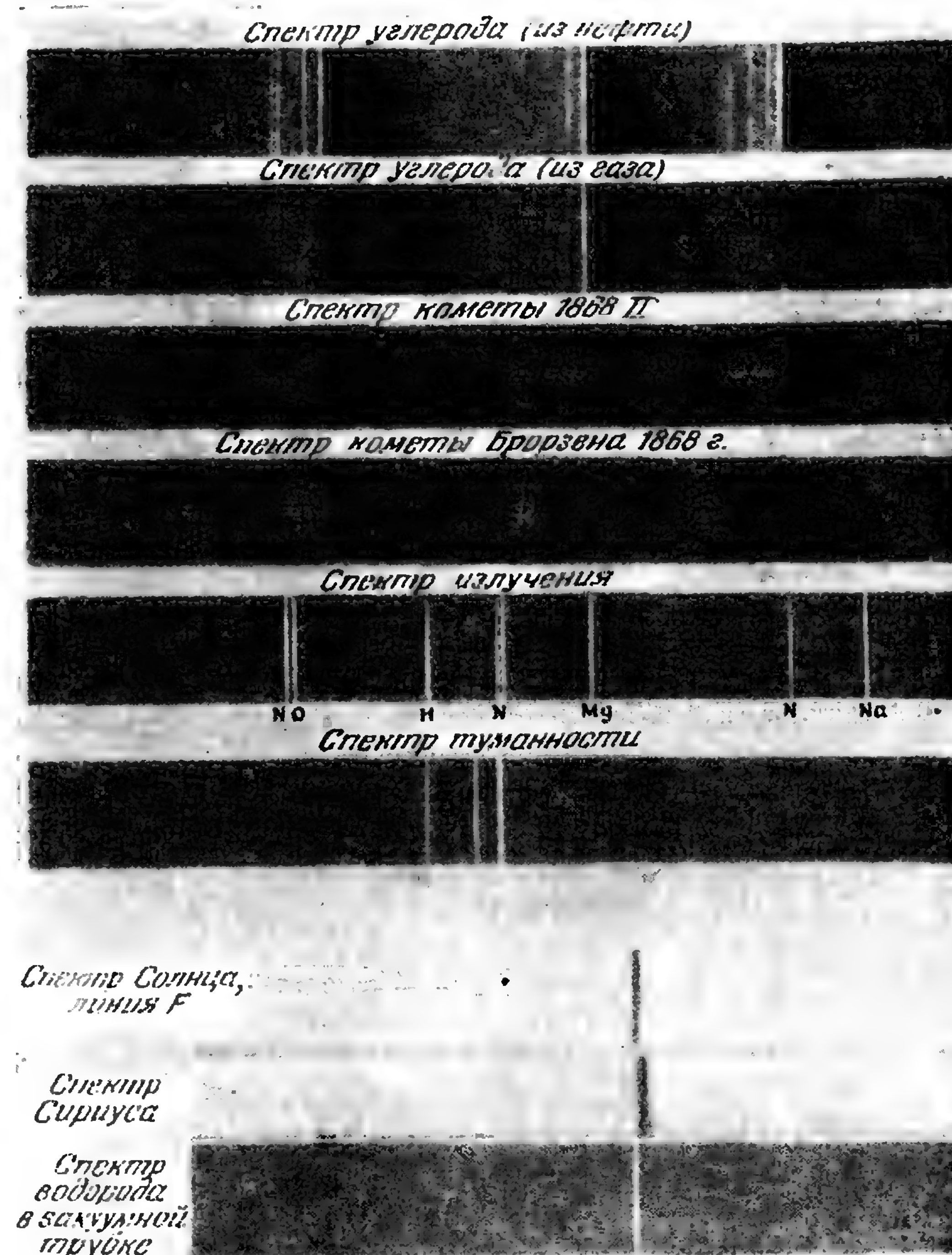


Рис. 59. Спектры по Хеггинсу.

Количество вещества, участвующего в этих явлениях, было найдено Шварцшильдом и Кроном в 1911 г. в их исчерпывающем исследовании нескольких случайных фотографий кометы Галлея[13], которые, однако, были стандартизованы. На основании из-

мерения поверхностной яркости хвоста на расстоянии в полградуса позади головы удалось подсчитать число светящихся частичек в поперечном сечении, а при помощи известной скорости их истечения вывести их полную массу. Было принято, что частицы излучают свет из-за флуоресценции (т. е. не отражают солнечный свет, а поглощают его и переизлучают). При таком предположении из головы в хвост должно было изливаться в секунду 150 *г* вещества. Плотность этого вещества была примерно в 10^{20} раз меньше плотности нашей атмосферы (т. е. одна молекула в кубическом сантиметре), чуть выше плотности, принятой для мирового пространства. Это означало, что здесь, собственно, нельзя было и говорить о газе. Ведь в нем биллионы молекул сталкивались друг с другом, обмениваясь энергией. В кометных хвостах, однако, каждая молекула или атом, однажды выброшенные и движимые отталкиванием солнечного излучения, не испытывали возмущений от столкновений.

Процессы, обозначенные в старых исследованиях неясными терминами флуоресценции и люминесценции, получили строгое определение, когда вскоре после 1914 г. атомная теория Н. Бора дала объяснение спектральных линий. Каждый атом при изменениях своей энергии может излучать и поглощать лучи определенных длин волн. Быстрый рост знаний о линейчатых спектрах атомов вскоре распространился и на полосчатые спектры, возникавшие в результате поглощения и излучения света молекулами. Молекулы, состоящие из двух или более равных или различных атомов, имели значительно больше возможностей изменения движения, т. е. поглощения и испускание энергии строго определенными небольшими порциями. Из-за частых взаимных столкновений возникло изобилие близких линий, которые при использовании малых инструментов приобретали вид полос. Благодаря раскрытию структуры молекулярных спектров после 1920 г. удалось узнать многие сильные и слабые полосы и группы полос. Это позволяло проводить все более тонкое спектрографическое изучение комет.

Теперь оказалось, что спектр Свана не имеет ничего общего с углеводородами. Выяснилось, что спектр Свана изучался молекулой углерода C_2. После этого перешли к циану, молекуле CN, дававшей основную часть света головы кометы. Слабый свет хвоста вызывался в основном ионизованной окисью углерода CO^+. Были замечены еще и более слабые полосы молекул CH, CH_2, OH, NH и N_2^+ (в хвосте). В химическом отношении всех их следует называть ненасыщенными соединениями или радикалами. Это понятно, потому что здесь смесь газов не находится в равновесии, где рекомбинации происходят наряду с расщеплением. Из-за сильного разрежения диссоциированные или ионизованные солнечным излучением атомы остаются в этом состоянии без изменений. Так возникло современное представление о том, что разреженный метеорный рой, подходя ближе к Солнцу, начинает выделять газы, такие как углекислый газ, водород, азот, углеводород. Молекулы этих газов поглощают соответствующую длину волны солнечного излучения и сами ионизуются. При этом сильное излучение увеличивает возможность столкновения и отражения. Из CO_2 могут образоваться CO и CO^+; из C_2N_2 — CN, а из углеводородов — C_2 и CH. Эти первичные продукты создают туманную оболочку диаметром примерно в 100 000 *км*, которую мы называем «головой кометы». Затем под действием давления солнечного излучения происходит истечение в хвост.

Однако теперь представление о характере лучевого давления совершенно изменилось под влиянием новой атомной теории. Вместо абстрактных «маленьких частичек» появились реальные атомы и молекулы. То, что Шварцшильд вычислил прежде, было давлением полного солнечного излучения на маленькие твердые шарики. Теперь атомы и молекулы поглощали некоторые излучения определенной длины волны и при этом получали направленный от Солнца импульс. Реакция при последующем излучении оказывалась равномерной во всех направлениях, т. е. не производила механического действия. В 1935 г. Карл Вурм подсчитал, что эти импульсы и эмиссии весьма сильны и часты как раз у молекул CO^+. Таким образом можно объяснить сильное излучение этого газа в хвосте. Вычисленное им отталкивание, в 80 раз превосходившее притяжение, полностью совпало со скоростями, наблюдавшимися в хвостах комет [14].

Замечательно, что все эти удивительные явления производили простые камни и глыбы, состоявшие большей частью из того же самого вещества, что и наша Земля. Собравшись в рои, они прилетели из мирового пространства и стали обращаться вокруг Солнца. Самые обычные (но действовавшие лишь на короткое время) физические свойства газов и паров вызывали удивительные световые явления, которые раньше переполняли людей страхом и ужасом, а теперь все еще удивляют и восхищают.

ГЛАВА 39

ПЕКУЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

С начала XIX в. главенство в астрономии перешло от солнечной системы к миру неподвижных звезд. Их область расширилась гигантским скачком, звездный горизонт стал в миллионы раз шире. В прежние столетия звезды были лишь неподвижно покоящимся фоном, на котором разыгрывались изменяющиеся планетные движения. Звезды заботливо и усердно измеряли и собирали в каталоги, но не для изучения их самих, а лишь используя их в качестве неподвижных точек, которые могли служить для установления движения планет и Луны. Еще в первой половине XIX в. большая часть телескопических звездочек была нанесена на карты в целях облегчения поисков малых планет.

Однако теперь мир неподвижных звезд сам постепенно стал предметом и целью астрономии. После пионерской работы Вильяма Гершеля новый век внес большее совершенство и точность в изучение неподвижных звезд. Правда, за исключением обычного измерения положений, на первом месте стояло изучение необычных объектов. Было установлено основное положение, что звезды представляют собой весьма удаленные солнца, однотипные с нашим Солнцем. Но все же полного сходства здесь не было. Между ними существовало большое различие. Конечно, основное внимание должны были привлекать необычные, особые объекты, такие как двойные и переменные звезды и звездные скопления.

Двойные звезды были столь странны для мировоззрения того времени, что сначала даже подвергалось сомнению само существование десятков и сотен таких звезд. Люди не только привыкли к виду одного Солнца в солнечной системе. Они были также убеждены в целесообразности существования источника света и тепла в центре скопления холодных планет для поддержания на них жизни. Для какой цели творец или природа могли создать систему из двух, зачастую неодинаковых и различно окрашенных звезд? Как должны были бы двигаться планеты около двух этих солнц? Правда, такие планеты никогда не удавалось видеть, но все же они представляли собой интересную теоретическую проблему (впоследствии ее изучал Эллис Стремгрен в Копенгагене). Астрономы сразу же поставили более практический вопрос: каково должно быть движение двух солнц по отношению друг к другу? Существовало убеждение, что закон тяготения Ньютона, выведенный для нашей солнечной системы, был верен и для этих отдаленных звездных миров. Двойные звезды как раз и могли решить этот вопрос, так как известно, что по закону Ньютона два взаимно притягивающихся тела должны описывать эллипсы (вообще говоря, конические сечения) вокруг общего центра тяжести системы. Эти орбиты, наблюдаемые с Земли под некоторым наклоном, остаются эллипсами, но иной формы и с совершенно другим фокусом. Таким образом, первой задачей явилось проведение точных измерений относительного положения обоих компонентов и вывод отсюда их видимой орбиты, а после этого — действительной орбиты.

Уже Гершель опубликовал списки нескольких сотен этих объектов, а в 1803 г. у пятидесяти из них удалось обнаружить ясное относительное смещение. Однако пионерская работа Гершеля была слишком груба для более высоких требований удовлетворительного определения орбиты. Серьезное изучение двойных звезд началось с первого применения усовершенствованной техники XIX в., когда Струве (1792—1864) в Дерпте[1] в 1819 г.*) стал измерять двойные звезды. В 1824 г. для этой цели он начал применять новый 23-сантиметровый рефрактор, самый большой из фраунгоферовых инструментов того времени. Первый список свыше 3000 в основном вновь открытых им двойных звезд был составлен и опубликован в 1827 г. Затем в следующие 10 лет при помощи нового превосходного нитяного микрометра Фраунгофера были заново проведены точные измерения. Примером достигнутой точности служило то, что все расстояния компонентов давались в сотых долях секунды. В. Струве не был одинок. Отчасти одновременно с ним, отчасти позднее его примеру последовали продолжившие его работу Джон Гершель, Саут и Дэвис в Англии, Бессель в Германии, Мэдлер в Дерпте, Кайзер в Лейдене, а еще позднее Отто Струве, сменивший своего отца В. Струве на посту директора новой Пулковской обсерватории. Таким образом, год от года удавалось продвигаться вперед в изучении орбитального движения, особенно самых быстрых пар, т. е. наиболее многообещающих в отношении скорого получения результатов. К 1850 г. были известны примерно 20 орбит. Самым коротким периодом обращения был 31 год (у ζ Геркулеса), а измеренный эллипс ее имел большую ось в 2″, 4.

Такое положение сохранялось на протяжении всего века. С течением времени были достигнуты новые успехи. Почти каж-

---

*) Начало измерений двойных звезд В. Я. Струве относится к 1813 г. (*Прим. ред.*)

дый астроном, располагавший хорошим микрометром, считал теперь своим долгом принять то или иное участие в этой работе. Некоторые, как Дембовский в Неаполе и Бернхем в Чикаго, занимались исключительно двойными звездами. Это всеобщее участие астрономов оказалось весьма полезным, так как на первых порах и небольшие инструменты в умелых руках могли дать почти столь же хорошие результаты, как и крупные. Кроме того, у всех наблюдателей оставались (не уменьшавшиеся с приобретением навыка) личные систематические ошибки. Происхождение их было неизвестно, но они уменьшались при усреднении одновременных результатов большого числа наблюдателей. В чем же тогда состояло преимущество больших инструментов? Прежде всего — в их более высокой разрешающей способности. Звезды, которые в малые телескопы казались одиночными, совершенно круглыми или иногда несколько вытянутыми, в большие телескопы четко разрешались на две звезды, положение которых можно было измерить. Кроме того, прежде невидимые слабые компоненты стали видны в большие телескопы. Таким образом, использование все больших инструментов непрерывно приводило к новым открытиям, особенно в отношении разделения на два компонента звезд, считавшихся ранее одиночными. Так, Отто Струве при помощи 15-дюймового пулковского рефрактора впервые удалось значительно расширить каталог, двойных звезд, составленный его отцом. С. У. Бернхем в 1873 г. как любитель впервые установил двойственность многих звезд при помощи небольшого 6-дюймового кларковского телескопа благодаря большой четкости, даваемой этим инструментом. Позднее, когда он получил в свое распоряжение более крупные телескопы, вплоть до только что построенных гигантов Лика (36 дюймов) и Йеркса (40 дюймов), число известных двойных звезд возросло еще на тысячу. Большей частью это были весьма тесные пары, с расстоянием между компонентами меньше 1″. Многие из них имели действительно небольшую орбиту, т. е. короткий период обращения. Самый короткий период обращения был обнаружен у δ Малого Коня — $5^1/_2$ лет при расстоянии компонентов в 0,3. Примерно 5% всех исследованных звезд оказались двойными.

Вслед за открытиями и измерениями теперь пришли вычисления. В начале века астрономы стояли перед проблемой определения орбит двойных звезд, и как раз в то же самое время они занимались разработкой методов вычисления кометных и планетных орбит. Таким образом, речь шла о том, чтобы искать решение в одном и том же направлении. Эллипс определяется пятью точками. [Следовательно, вопрос сводился к наблюдениям пяти или более позиционных углов и расстояний на видимом эллипсе относительно главной звезды, которая предполагалась неподвижной.

Затем отсюда вычислялась истинная орбита.] Савари в 1828 г. впервые вывел и применил метод, разработанный затем Энке в 1830 г. в виде системы формул, целиком в духе известного метода вычисления орбит. Однако это все же был совершенно иной случай, чем у комет и малых планет: малейшая ошибка, например,

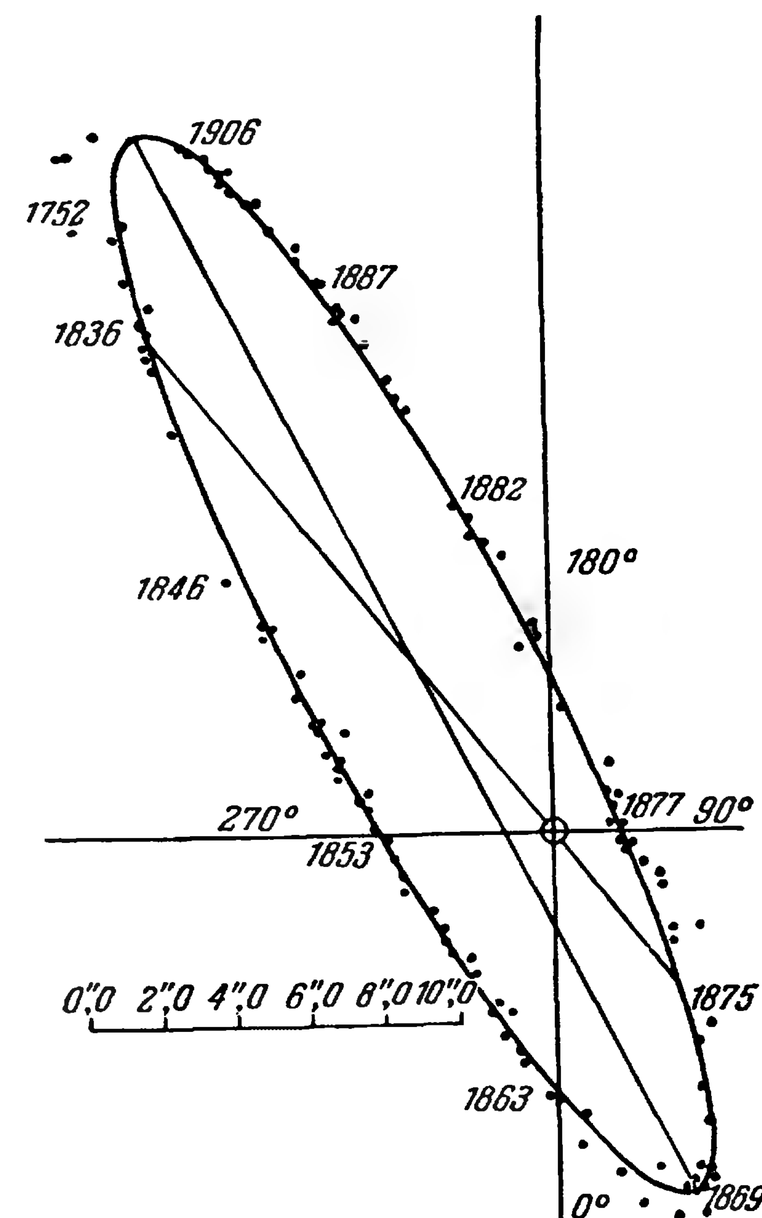


Рис. 60. Орбита двойной звезды α Центавра.

в 0″,1 при расстоянии от главной звезды в 4″ составляла в процентном отношении значительно большую ошибку, чем у комет. Так приближенные графические методы, особенно для тесных пар, стали заменять более строгие алгебраические методы. Каждое измерение позиционного угла и расстояния просто наносилось на чертеж в виде точки. Все эти точки, вместе взятые, сразу же

давали наглядное изображение орбиты, и после нескольких проб можно было достаточно надежно получить возможный эллипс, построенный по всем этим точкам. Затем отсюда вычислялась истинная орбита, т. е. эллипс, расположенный в пространстве наклонно относительно луча зрения. Это была простая геометрическая задача. Иначе обстояло дело с большой орбитой размером во много дуговых секунд и с медленным движением. Там можно было опираться на отрезки дуги, где каждый состоял из многих дюжин измерений. В этом случае было выгоднее выводить наиболее вероятные значения элементов из полного материала всех измерений алгебраически, при помощи метода наименьших квадратов.

Этот способ стал еще более употребительным с тех пор, как Эйнар Герцшпрунг в Потсдаме в 1914—1919 гг. начал применять фотографию к более широким парам *). Большое число последовательных экспозиций такой двойной звезды получалось на одной пластинке. Для уменьшения ошибки, происходящей от разности блеска компонентов, перед объективом помещалась грубая решетка, которая давала два слабых дифракционных изображения с обеих сторон центрального изображения. На основании этих точных измерений получались относительные положения обеих звезд, превосходившие по точности результаты визуальных измерений на целый десятичный знак. По одной пластинке ошибка оказывалась не больше 0″,01, редко выше, чаще всего значительно ниже. С такими данными возможно было не только точное вычисление самой орбиты по малым дугам, но также и четкое заключение о наличии весьма вероятных неравенств, являющихся результатом возмущения третьего тела. Так, измерения известной двойной звезды 61 Лебедя (рис. 61) ясно показали возмущение из-за притяжения некоторого темного, вероятно, планетоподобного компонента с массой примерно в $^1/_{60}$ солнечной. Этот метод наблюдений составил новую эпоху в изучении двойных звезд.

На фоне спокойного накопления знаний в XIX в. открытие «темных звезд» явилось поразительным эпизодом. В 1844 г. Бессель указал, что Сириус и Процион, как обнаружилось из весьма большого числа точных меридианных измерений этих звезд, движутся по небу не прямолинейно и равномерно, а несколько неправильно. Раньше, в 1825 и 1833 гг., Понд в Гринвиче уже обнаружил это у большого числа звезд и считал его общим явлением, возникающим вследствие взаимного притяжения звезд. Однако Бессель понял, что из-за больших взаимных расстояний звезд эти силы должны быть слишком малы, и ограничился двумя названными звездами. Обсудив все другие возможные объяснения, он пришел к заключению, что вблизи Сириуса должно находиться невидимое тело большой массы, притяжение которого и вызывало неравенства в движении этой звезды. Такое положение опрокидывало все обычные понятия о больших самосветящихся и малых

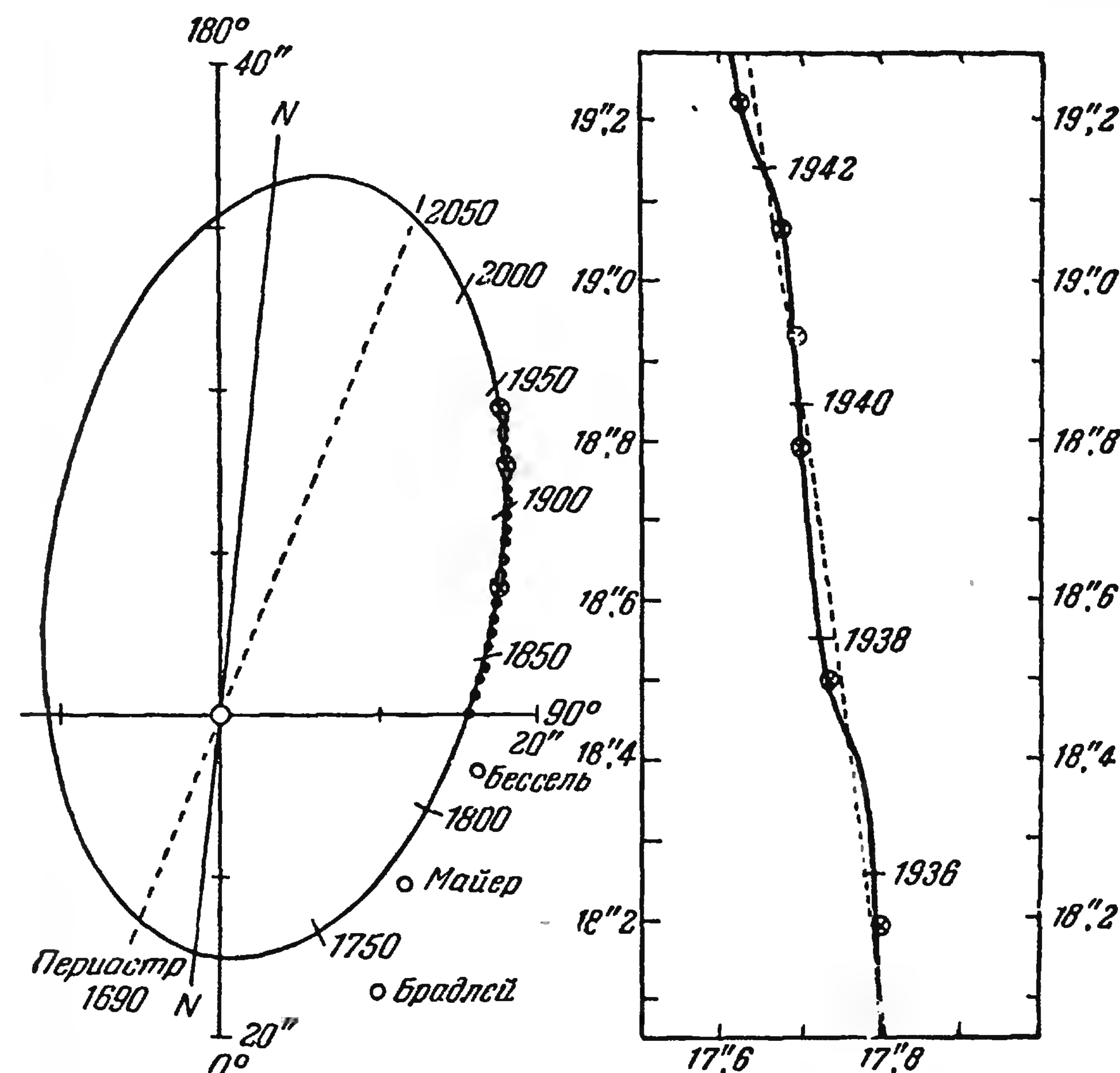


Рис. 61. Орбита двойной звезды 61 Лебедя. Слева — эллипс, построенный по измерениям между 1830 и 1940 гг. Справа — часть орбиты 1935—1942 гг. по фотографическим измерениям Стрэнда.

темных небесных телах. Это позволяло надеяться на существование весьма больших темных небесных тел. Такой факт нельзя было отрицать. Один автор того времени нашел в этом явную иронию. Следовало признать, что Сириус, которому раньше отводилось главенствующее, центральное место в мире звезд, теперь заменило невидимое темное тело. Однако в этом не было ничего плохого, так как по теории оба таких соседних тела, как компо-

*) В начале века фотографию к изучению двойных звезд начал применять П. К. Штернберг в Москве, что отметил в своих работах и Э. Герцшпрунг. (*Прим. ред.*)

ненты двойной звезды, должны были описывать орбиты около общего центра тяжести. Следовательно, они были равнозначны. Неравенства в движении Сириуса разлагались, таким образом, на смещение центра тяжести и на орбитальное движение Сириуса вокруг этого центра тяжести. Такая орбита была выведена Х. А. Ф. Петерсом в 1850 г. Период обращения оказался равным 50 годам, а большая полуось орбиты составила 2″,4.

Когда в 1862 г. Альван Кларк установил для проверки качества даваемого изображения свой только что отшлифованный 18-дюймовый объектив (самый большой по сравнению с ранее существовавшими) и направил его на Сириус, то он заметил совсем рядом с Сириусом маленькую звездочку, едва видимую в его ярком сиянии. Оказалось, что она находилась как раз в том направлении, где должно было располагаться возмущающее тело. По сравнению с Сириусом оно было удалено от вычисленного центра тяжести более чем в 2 раза. Это была «темная звезда» Бесселя, ясно обнаруженная из измерений в следующие годы. Таким образом, она оказалась не совсем темной, а лишь очень слабой звездочкой восьмой величины, излучавшей почти в 10 000 раз меньше света, чем Сириус. Все же ее масса, судя по положению центра тяжести, была всего в 2 раза меньше массы Сириуса. Таким образом темные звезды исчезли из астрономии. Однако остался этот компонент — «Сириус В», как его отныне стали называть, объект, замечательный сочетанием большой массы и малой светимости (насколько замечательный — выяснилось только впоследствии). Точно то же самое произошло и с Проционом. Его еще более слабый спутник, открытый в 1895 г. Шеберле на 36-дюймовом телескопе Ликской обсерватории, оказался звездочкой тринадцатой величины.

Двойные звезды столь важны потому, что в них наглядно проявляется сила притяжения. По этой причине они явились теми объектами звездного мира, которые позволили нам узнать меру притяжения, т. е. массу звезды. То, что Ньютон вывел в свое время как следствие из третьего закона Кеплера, а именно, что отношение куба большой оси к квадрату периода обращения прямо пропорционально полной притягивающей масс ($a^3/T^2 = \mathfrak{m}$), нашло здесь применение. Конечно, для того чтобы по видимой орбите размером в несколько секунд можно было вывести истинную величину, выраженную в радиусах земной орбиты, следовало к тому же знать и параллакс звезды. У Сириуса, например, большая полуось орбиты компонента В относительно главной звезды составляет 7″,5, т. е. в 20 раз больше параллакса, равного 0″,37. Следовательно, эта орбита в 20 раз больше орбиты Земли. При периоде в 50 лет отсюда получается полная масса: $20^3 : 50^2 = 3{,}2$ солнечной массы. Для Сириуса было известно, что рас-

стояние главной звезды от центра тяжести системы составляет $^1/_3$ расстояния между обоими компонентами. Отсюда следовало, что массы отдельных компонентов составляли $^1/_3$ и $^2/_3$ суммарной массы системы. Аналогичное вычисление можно было провести и для других ярких двойных звезд, если на основании большого числа меридианных наблюдений у них обнаруживалось движение



Рис. 62. Двойная линия К в спектре β Возничего. Широкие линии слева и справа принадлежат водороду.

яркого компонента. Оказалось, что найденные таким образом массы звезд отличаются от массы Солнца не более чем в 10 раз (в ту или другую сторону), тогда как их светимости могли различаться в миллион раз.

Новый тип двойных звезд обнаружился в то время, когда фотография стала в широком масштабе применяться к исследованию звездных спектров. В 1889 г. мисс Антония К. Мори на Гарвардской обсерватории открыла, что в спектре звезды ζ Большой Медведицы (Мицар) у линии К (единственной сильной и в то же время узкой линии) иногда наблюдалось раздвоение. Еще более регулярное чередование раздвоения и слияния той же самой линии обнаружилось у звезды β Возничего (рис. 62).

Раздвоение означало, что два однотипных спектра были немного сдвинуты один относительно другого из-за различия лучевых скоростей. Следовательно, здесь обращались друг около друга две однотипные звезды, причем период обращения у β Возничего составлял 4 дня. Вскоре такое же периодическое раздвоение спектральных линий было найдено и у многих других звезд. Это были «спектральные двойные», чаще всего с весьма большой относительной скоростью на орбите — в десятки и сотни *км/сек*

(иначе их было бы трудно открыть). Эти звезды с коротким периодом обращения были так близки друг к другу, что даже с лучшими телескопами не удавалось заметить их двойственности.

Около 1890 г. Фогель и Шейнер в Потсдаме занялись фотографированием при помощи вновь сконструированного спектрографа спектров ярких звезд для измерения лучевых скоростей. При этом они заметили, что у некоторых звезд, таких как Спика в Деве и Алголь в Персее, эта скорость периодически то увеличивалась, то уменьшалась. Таким образом, они также были спектральными двойными звездами с орбитальным движением, направленным то к нам, то от нас, но спектр второй звезды оставался невидимым. Это, конечно, не означало того, что второе тело было совсем темным. Оно должно было быть только значительно слабее яркого компонента, затмевавшего его спектральные линии. Этот тип двойных, отличавшийся только переменностью лучевой скорости, был гораздо многочисленнее, чем тот, где у примерно одинаковых компонентов наблюдалось раздвоение линий. В следующие годы и в начале нового столетия на Ликской обсерватории Кемпбелл открыл большое число спектральных двойных (в его каталог 1924 г. входило более 1000 звезд). Он считал, что к этому типу принадлежит треть всех звезд. Следовательно, хотя одиночных звезд, сходных с нашим Солнцем,— большинство, двойственность звезд можно считать обычным состоянием. Ясно, что к ним вполне подходило теоретическое заключение о делении одного тела на два компонента, с последующим их удалением друг от друга под действием приливного трения. Происхождение очень широких пар — обычных двойных звезд с периодом обращения в десятки и сотни лет — было трудно объяснить таким образом.

Уже упоминавшаяся звезда Алголь в созвездии Персея была известна в астрономии потому, что Джон Гудрайк в 1782 г. открыл правильную переменность ее блеска. Каждый раз через 2 дня 22 часа в течение примерно четырех часов ее блеск уменьшался до минимума, а затем за то же время возрастал, доходя до нормального блеска. Однако длительное непрерывное исследование переменных звезд началось только с тех пор, как на них обратил внимание Ф. В. А. Аргеландер (1799—1875). Он ввел метод численной оценки небольших различий в блеске, для чего была установлена единица, названная «степенью». Следовательно, это был улучшенный метод Гершеля, в котором использовались численные величины вместо запятых и черточек.

Первые результаты он опубликовал в 1843 г. в статье о β Лиры. В следующие 25 лет Аргеландер пронаблюдал почти все известные или вновь открытые переменные звезды и определил их периоды и кривые блеска. В 1844 г. в своем «Воззвании к друзьям астрономии» он дал перечень многих важных объектов, для исследования которых либо совсем не требовалось инструментов либо необходимы были только небольшие телескопы. Астрономы-профессионалы не могли воспользоваться для этой цели большими инструментами, которые были заняты более сложными работами. Аргеландер предложил исследовать падающие звезды, зодиакальный свет, Млечный Путь, блеск и цвет звезд и особенно переменные звезды. Как призыв, так и пример самого Аргеландера нашли отклик среди многочисленных последователей. Наиболее выдающимися из них были Эдуард Хейс из Мюнстера, Юлиус Шмидт (который впоследствии работал в Афинах) и Эдуард Шенфельд. Наряду с этими астрономами-профессионалами теперь появлялось все больше и больше любителей, которые начали наблюдения переменных звезд по аргеландеровскому методу степеней (простым глазом, а также при помощи бинокля или небольших телескопов). Для их наблюдения были необходимы лучшие звездные карты, которыми пользовались тогда специалисты. Число переменных звезд среди телескопических объектов быстро росло. В каталоге, составленном Чендлером в 1889 г., их число доходило уже до 225. Теперь все больше росло число представителей различных видов и типов переменных звезд, наиболее яркие экземпляры которых были открыты еще в XVIII в. В обширном общем каталоге, изданном Густавом Мюллером и Эрнстом Гартвигом в 1919 г., звезд типа Алголя (по существу обычных, но затмевающихся звезд) было всего 131. Звезд типа β Лиры, непрерывно изменяющихся за относительно короткий период (с двумя одинаковыми максимумами и двумя минимумами разной глубины), насчитывалось 22. Непрерывно изменявшихся короткопериодических звезд, называемых по звезде δ Цефея «цефеидами», было 169. Самым большим (более 600) оказалось число долгопериодических (в основном с периодом около года), очень сильно изменяющихся красных звезд, названных по давно уже открытой звезде Mira Ceti («Дивная» Кита) звездами «типа Миры Кита». Наряду с этим существовали еще слабо и неправильно меняющие свой блеск красные звезды, похожие на α Геркулеса, открытую еще Вильямом Гершелем в 1795 г., и Бетельгейзе (переменность которой была установлена его сыном Джоном Гершелем в 1836 г.).

Отчего происходило изменение блеска? Для звезд типа Алголя это было понятно. Объяснение Гудрайком затмения звезды темным телом было вероятной гипотезой. В 1889 г. Фогель и Шейнер по своим снимкам спектра видимого компонента Алголя установили, что эта звезда перед минимумом блеска движется к нам, а после минимума — от нас. Таким образом было твердо установлено, что в минимуме Алголь находится позади своего спутника. Следовательно, и у других звезд этого типа причиной изме-

нения блеска было покрытие или затмение. Но это не умаляет их значения. Напротив, наблюдения таких звезд приобретают особую значимость. У всех других звезд, кроме нашего Солнца, приходилось довольствоваться изучением их интегрального света. Поскольку они наблюдались как светлые точки, а не диски, там невозможно было различить отдельные части, например край и центр. Однако при звездных затмениях один диск заслонялся другим. Таким образом, поочередно закрывались или открывались различные части диска. Следовательно, это были единственные звезды, с которыми можно и нужно было обращаться как с дисками и у которых величина и форма различий между краем и центром диска могла стать объектом исследования. Из-за различия размера дисков и поверхностной яркости обеих звезд и различной ориентировки орбит возникало богатое разнообразие в форме кривых блеска. И обратно, на основании этих кривых блеска можно найти некоторые физические и геометрические соотношения.

Так, открытая в 1880 г. В. К. Цераским в Москве затменная переменная U Цефея в максимуме имела блеск $6^m,9$, а в минимуме блеск ее оставался постоянным в течение нескольких часов ($9^m,2$). Это указывало на то, что меньший диск располагался то впереди, то целиком позади большего. У открытой в 1886 г. Чендлером Y Лебедя, где блеск при каждом затмении уменьшался точно наполовину, оказалось, что промежуток в $1^1/_2$ дня между двумя затмениями постепенно то увеличивался, то уменьшался. В 1891 г. Дунер из Упсалы нашел, что здесь две одинаковые звезды двигались друг около друга по эллиптической орбите за 3 дня, поочередно закрывая друг друга. Эта разность попеременно уменьшалась и увеличивалась из-за медленного вращения большой оси орбиты. В звездной системе наблюдалась сплюснутость и деформация обеих звезд вследствие их взаимного притяжения. У многих других затменных переменных обнаруживались два неравных минимума, причем вторичный был много меньшим, если вторая звезда оказывалась значительно слабее, и почти равен главному минимуму, если обе звезды были одинаково яркими.

Как же обстояло теперь дело с самим Алголем? После тщетных попыток наблюдателей найти ослабление света в середине между минимумами, когда спутник затмевался главной звездой, этот вторичный минимум удалось обнаружить в 1910 г. Стеббинсу при помощи сконструированного им селенового фотометра. Минимум имел глубину всего в $0^m,06$, что соответствовало потере света на 6% *). Теперь выяснилось, что для звезд типа Алголя аргеландеровский метод «степенных» оценок все же недостаточно точен для строгого определения хода кривой блеска, которое необходимо для сравнения с геометрической теорией. Еще раньше, около 1880 г., в Потсдаме и на Гарвардской обсерватории перешли к измерению блеска Алголя и других звезд при помощи фотометров. Впоследствии Дэган на Принстонской обсерватории в 1905—1910 гг. определил кривые блеска большого числа этих звезд при помощи фотометрических измерений с точностью до нескольких процентов для каждого значения блеска. Однако вся эта фотометрия основывалась на глазомерной оценке блеска двух уравненных звезд. Неточность одного измерения в лучшем случае не могла быть меньше $0^m,05$, т. е. соответствовала 5%. Только при объединении и усреднении очень большого материала Дэган получал более точные результаты.

*) Потеря света в $0^m,06$ означала (см. следующую главу) логарифмическое ослабление, равное $0,4 \times 0,06 = 0,024$. Так как $0,024 = \lg 1,059$, это ослабление происходит в отношении 1,059, т. е. на 6%.

Стеббинсов селеновый фотометр явился первой попыткой замены ограниченного в этом отношении глаза действительно более чувствительным физическим аппаратом. В нем свет изменял электрическое сопротивление. При помощи селенового фотометра удалось обнаружить вторичный минимум Алголя.

Вывод геометрических и других элементов затмения (относительных размеров и яркости обеих звезд, наклонности и величины орбиты) по форме кривой блеска требовал утомительных и обширных вычислений по формулам, выведенным Пиккерингом в 1880 г. и Майерсом в 1895 г. *). Этот вопрос получил исчерпывающее решение только в 1912 г., когда Генри Норрис Рессел из Принстона составил схему практического вычисления, основанного на множестве вспомогательных таблиц. В 1913 г. Харлоу Шепли использовал ее при тщательном определении геометрических элементов всех затменных переменных, для которых Дэган получил достаточно полный наблюдательный материал. Поскольку был неизвестен еще один элемент — распределение яркости по диску, Шепли вычислил остальные элементы для двух разных предельных возможностей: равномерной яркости по всему диску и яркости, столь сильно спадающей к краю, что на самом краю она становилась равной нулю. Оказалось, что измеренные яркости можно было почти всегда достаточно удовлетворительно представить при помощи обеих гипотез. Это означало, что коэффициент потемнения к краю невозможно было найти таким способом. Кривые блеска, вычисленные для обоих случаев (каждая со своими собственными элементами), почти полностью совпадают. Отклонения, встречавшиеся в нескольких местах, составляют несколько сотых звездной величины. Таким образом понятно, что фотометри-

*) Значительно упростил эту проблему С. Н. Блажко в его малоизвестной работе 1910 г. (*Прим. ред.*)

ческие результаты были еще довольно грубы для того, чтобы сделать выбор между двумя гипотезами. Были необходимы лучшие измерения.

К счастью, в этот период появились более точные физические методы. Около 1911 г. немецкие физики Элстер и Гейтель усовершенствовали фотоэлемент, превратив его в высшей степени чувствительный инструмент для измерения слабых освещенностей. Вскоре такие фотоэлементы были применены к звездам Гутником и Прагером на Берлинской обсерватории и Розенбергом в Тюбингене. Они показали, что блеск звезды можно измерить в 10 раз точнее, чем это было возможно раньше при глазомерных оценках. Различия блеска приходилось выражать числами с тремя десятичными знаками, с ошибкой не более нескольких тысячных долей звездной величины вместо сотых. Для фотометрии обычных звезд нет необходимости в такой точности, но для переменных звезд она весьма важна. Оба берлинских астронома открыли теперь слабую переменность у многих звезд, до тех пор и не подозревавшуюся. Новый метод был особенно важен в применении к проблеме затменных переменных. Джеральд Крон на Ликской обсерватории сконструировал весьма чувствительный инструмент этого типа и измерил с его помощью в 1937—1938 гг. блеск звезды 21 Кассиопеи (типа Алголя) на протяжении всей фазы затмения с вероятной ошибкой не более $0^m,002$. Отсюда он действительно смог определить коэффициент потемнения к краю, равный $0,58 \pm 0,04$, т. е. впервые получить достаточно надежное значение *) в дополнение к значению этого коэффициента для Солнца.

Затменные переменные были полезны также и в другом отношении. По продолжительности затмения относительно периода обращения находили размеры звезд по отношению к величине орбиты. Радиус звезды в третьей степени определял объем, а радиус орбиты в третьей степени — характеризовал массу. Таким образом, можно было вычислить среднюю плотность таких звезд, не зная их истинных размеров или параллакса.

Удивительный случай представляла звезда третьей величины ε Возничего. Юлиус Шмидт в 1843 г. заподозрил существование неправильных изменений ее блеска, а в 1847 и 1848 гг. Аргеландер и Хейс наблюдали ее как звезду четвертой величины. В следующие годы были замечены слабые неопределенные колебания ее блеска. В 1875 г. ее блеск снова стал ослабевать, но очень недолго. Когда в 1901 г. все снова повторилось и вместе с этим было обнаружено изменение ее лучевой скорости, Людендорф из Потсдама в 1903 г. пришел к заключению, что переменность этой

*) Впервые проблема определения коэффициента потемнения к краю диска была поставлена и решена в той же работе С. П. Блажко (см. стр. 487). (*Прим. ред.*)

звезды проявляется довольно необычным образом: она имеет период в 27 лет, из которых в течение семи месяцев блеск медленно уменьшается, 10 месяцев звезда имеет постоянный блеск и семь месяцев блеск снова возрастает до нормального значения. Таким образом, это была затменно-переменная звезда необычного типа с очень большим периодом в 27 лет. Для того чтобы при столь большой орбите мы могли наблюдать прохождение одной звезды точно перед диском другой, была необходима весьма редкая случайность: наша солнечная система должна была лежать точно в плоскости орбиты двойной звезды.

Богатое разнообразие затменных переменных еще больше возросло из-за того, что блеск многих звезд вне затмений также не оставался постоянным. Во-первых, потому, что при обычно небольшом расстоянии темная звезда освещалась яркой и ее блеск усиливался; в результате этого увеличивался общий блеск системы перед началом и вскоре после вторичного минимума. Во-вторых, в середине между затмениями деформированные из-за взаимного притяжения звезды оказывались повернутыми к нам широкой стороной. Такие звездные пары представляли собой переход к типу β Лиры, с двумя одинаковыми максимумами и двумя неравными минимумами в каждом периоде. Или, говоря иначе, звезды типа β Лиры являлись предельным случаем затменных звезд. Вскоре многие спектроскописты, в том числе Локьер в 1893 г. и Белопольский в Пулковской обсерватории в 1892 г., установили у этих звезд периодическое изменение лучевой скорости. Таким образом, компоненты разные по блеску и цвету двигались по орбитам один около другого с очень большой относительной скоростью (155 *км/сек* у β Лиры) и на столь малом расстоянии друг от друга, что их вытянутые эллипсоидальные тела почти соприкасались. Для самой β Лиры ее элементы как двойной звезды были вычислены Майерсом в 1896 г. и Штейном в 1907 г. Однако было обнаружено еще очень много непонятных явлений, особенно изменений в спектре, которые превратили эту звезду в загадку для астрономов.

В 1894 г. Белопольский установил также периодическое изменение лучевой скорости у звезды δ Цефея. Позднее оказалось, что это было общим свойством всех исследованных звезд этого типа. В 1907 г. Себастьян Альбрехт из Ликской обсерватории обратил внимание на то, что наиболее быстрое приближение к нам у такой звезды как раз совпадало с наибольшим усилением блеска. Кроме того, формы кривой лучевой скорости и кривой блеска были очень похожи друг на друга[2]. Естественно, что тогда никто не сомневался в том, что цефеиды являлись двойными звездами, где два компонента, находящихся на близком расстоянии друг от друга, быстро обращались один около другого. Однако

на основании этого трудно было объяснить периодическое изменение блеска, которое у δ Цефея и большинства цефеид обнаруживало довольно быстрое возрастание и более медленное, иногда неправильно замедлявшееся, непрерывное уменьшение. Иногда принималось во внимание приливное действие спутника на атмосферу звезды. Предполагалось, что из-за того, что движение по орбите происходит в сопротивляющейся среде, передняя сторона звезды сильнее накалена и имеет более высокую температуру, чем задняя. То, что в максимуме блеска температура выше, чем в минимуме, было выведено Шварцшильдом уже в 1899 г. При помощи точных измерений блеска по фотоснимкам он установил, что фотографическая амплитуда изменения блеска в полтора раза больше визуальной, следовательно, в максимуме цвет должен быть более синим. Все же здесь оставалось еще много трудностей. Нагревание из-за сопротивления означало сильное торможение, тогда как период оставался почти постоянным. Умеренная орбитальная скорость при столь коротком периоде обращения свидетельствовала о весьма малой массе, меньшей 0,01 солнечной. Весьма большой эксцентриситет вряд ли давал асимметричную, неправильную форму кривой блеска и лучевой скорости. По другим данным объем звезды следовало принимать таким большим, что центр орбиты должен был располагаться вплотную к центру звезды. Так что, собственно говоря, здесь не было передней и задней стороны.

Тогда появилась теория пульсации, о которой уже думали и говорили некоторые исследователи. В 1914 г. Шепли впервые выступил в ее защиту и вывел из нее все следствия. По этой теории предполагалось, что звезда попеременно расширяется и снова сжимается. Это изменение происходит адиабатически, т. е. вся то освобождаемая, то потребляемая энергия скапливается в звезде в виде теплоты, которую затем она испускает, так что звезда поочередно то нагревается (при сжатии), то охлаждается (при расширении). Несколько странным в идее в таком новом типе звезд было то, что они не могли оставаться в состоянии равновесия, а неустанно пульсировали все время одинаковым образом, тысячи и десятки тысяч раз непрерывно то увеличиваясь, то уменьшаясь, то охлаждаясь, то нагреваясь. Однако вскоре эта идея была принята подавляющим большинством астрономов, особенно, когда Эддингтон в 1918 г., в связи со своими исследованиями внутреннего строения звезд, разработал общую теорию пульсирующих звезд. Все же и при этом объяснении оставалось еще много трудностей, не разрешенных удовлетворительным образом. Например, почему наибольший блеск не совпадает с наименьшим объемом, а запаздывает на четверть периода, когда звезда уже быстро расширяется.

Ввиду большой теоретической важности этого вопроса необходимо было более точное определение кривых блеска цефеид. На протяжении всего XIX в. астрономы и многочисленные любители пользовались аргеландеровым методом степеней. Однако он все же не соответствовал более высоким требованиям точности, необходимой для сравнения с теоретическим расчетом, прежде всего потому, что не было уверенности в одинаковости масштаба на протяжении всего хода изменения блеска. [Так, цефеиды стали объектом применения фотометрических методов измерения. Первым таким объектом была звезда η Орла.] Здесь визуальные фотометры могли сослужить хорошую службу, так как была достаточной точность в 0,01 вместо 0,001.

Фотографическая фотометрия нашла здесь еще более широкое применение, чем визуальная, поскольку за ограниченное время она позволяла собрать богатый наблюдательный материал, особенно в связи с большими работами по составлению «Carte du Ciel».

На фотографическом негативе звездного неба размер черных точек изменялся в зависимости от яркости звезды. Около 1890 г. многие астрономы (Шарлье, Шейнер и др.) выводили эмпирические формулы для определения звездной величины на основании измерения диаметров звездных изображений. Оказалось, что плохие объективы, где около звезды собирается много ложного света, давали лучший результат (из-за большего диаметра), чем хорошие. Однако блеск звезд выводился отсюда все же с небольшой точностью (из-за размытости краев звездных дисков).

Значительное улучшение и усовершенствование, по существу настоящее обновление основ фотографической фотометрии, произошло в 1899 г., когда Шварцшильд (в уже упоминавшемся исследовании) ввел в употребление экстрафокальные снимки звезд. Благодаря тому, что пластинка помещалась немного не в фокусе, все звезды выходили в виде довольно больших дисков, различавшихся по «почернению», т. е. плотности слоя осевшего серебра. Теперь различия в почернении поверхностей можно было измерить значительно точнее, чем разность диаметров на фокальных снимках (рис. 63).

Когда Шварцшильд впервые применил этот метод, ему пришлось оценивать почернения еще и ряда следующих друг за другом изображений сравнения. Однако в том же самом году Гартман из Геттингена сконструировал свой (вошедший впоследствии во всеобщее употребление) «микрофотометр» для измерения почернений посредством уравнивания изображений при помощи клина из темного стекла.

Для получения абсолютной фотометрической шкалы на каждой пластинке Герцшпрунг в 1910 г. стал помещать перед объективом грубую решетку. Благодаря этому по сторонам каждого звездного

диска появлялись два дифракционных диска такого же размера, но ослабленные в вычисленном отношении относительно главного изображения. Благодаря этому вспомогательному средству стала возможна точная фотометрия. С тех пор на многих обсерваториях по такому способу стали выводить точные кривые блеска цефеид.

Красные долгопериодические переменные звезды с большой амплитудой (типа Миры Кита) являются исключительной областью применения аргеландерова метода степеней. При изменении блеска от четвертой до восьмой или даже до десятой звездной величины и при большой неправильности изменения блеска относительными ошибками в 0,1 звездной величины вполне можно пренебречь. Таким образом, здесь создавалось весьма благодатное поле действия для любителей астрономии, работавших на небольших телескопах. Однако в случае слабых звезд десятой или двенадцатой величины любителям приходилось сотрудничать со специалистами, располагавшими большими телескопами обсерваторий. В течение XIX в. с увеличением числа объектов непрерывно росло и число людей, работавших в этой области. Они организовывали специальные общества для совместной работы и объединения своих результатов для того, чтобы более полно проследить поведение каждой звезды день за днем[3]. У звезд типа Миры Кита было также замечено изменение лучевой скорости. Однако самыми важными изменениями, на основании которых со временем удалось прийти к удовлетворительным объяснениям, были изменения спектра. [При его интерпретации непрерывно возникали все новые и новые загадки.]



Рис. 63. Внефокальный снимок части созвездия Ориона.

Самыми интересными среди пекулярных звезд являются новые звезды. Однако здесь проявляются не безобидные постоянно повторяющиеся периодические изменения. То, что мы видим здесь, является катастрофой, которая поражает нас своими масштабами. Звездные катастрофы стояли у колыбели астрономии; если верно рассказывают, то Гиппарх из-за появления новой звезды задумал план составления каталога всех звезд. Звездные катастрофы послужили сигналом к началу революционной эпохи в астрономии:

новые звезды 1572 и 1604 годов впервые привлекли внимание Тихо к астрономии, вдохновили они также Кеплера и Галилея. После этого они стали редки. В XVIII в. и в начале XIX в. новые звезды совсем не наблюдались. Не из-за недостатка ли внимания? Мы знаем, что не поэтому. Однако тогда определенно не было такого множества выдающихся явлений, которые были позднее, начиная с открытия Хиндом в 1848 г. скромной новой звезды пятой величины в Змееносце. Мы уже не говорим о южной звезде особого типа η Киля. Раньше ее считали звездой четвертой величины. Джон Гершель наблюдал ее в 1838 г. как звезду первой величины, а затем, после падения блеска, она еще раз вспыхнула в 1843 г. до величины Сириуса и постепенно ослабела до звезды 6-й величины.

В 1866 г. новая звезда второй величины появилась в Северной Короне, в 1876 г. новая звезда третьей величины — в Лебеде, в 1892 г. — четвертой величины — в Возничем, в 1901 г. — первой величины — в Персее и т. п. В последующие годы прибавились новые звезды пятой, четвертой или третьей величины, в 1918 г. — снова одна звезда первой величины в Орле. Все они в высшей степени быстро (за несколько дней или еще меньше) вспыхивали до 10 000-кратного блеска или больше, а затем, через несколько дней, их блеск начинал убывать, медленнее или быстрее (иногда с неправильными или с периодическими колебаниями), пока они не становились слабыми звездочками. Блеск Новой Возничего 1892 г., как было обнаружено на ранее полученных гарвардских пластинках, изменился примерно на четыре звездные величины за много недель до ее открытия. Это привело Зеелигера к объяснению (противоречащему общепринятому мнению о столкновении двух звезд) о разогреве звезды из-за трения при быстром прохождении ее сквозь туманное облако переменной плотности. Новая Персея 1901 г. уже через полгода стала слабой звездой, но теперь она была окружена на расстоянии в 7″ туманным кольцом, которое постепенно расширялось. Согласно объяснению Каптейна и Зеелигера, свет от ослепительной вспышки, распространяясь, освещал все более далекие от звезды массы окружающего ее газа. Это дало возможность оценить расстояние до новой звезды примерно в 200 парсек.

Для того чтобы не зависеть от случайности открытия новых звезд любителями, «сторожащими небо», на Гарвардской обсерватории был установлен «небесный патруль». Он представлял собой камеры с большим полем зрения, которые благодаря непрерывному фотографированию всего неба быстро обнаруживали любую «незнакомку» и позволяли проследить предыдущую историю открытой новой. Так удалось проверить полную регистрацию всех новых звезд. Большинство из них, правда, и в максимуме

блеска оставалось телескопическими звездами. На основе работы этого патруля Бейли нашел, что ежегодно появляется 10—20 новых звезд ярче девятой величины, которые находятся от нас на расстоянии меньше 10 000 парсек. В пределах этого пространства насчитывают 10 000 миллионов звезд. В среднем каждая из этих звезд имеет шансы стать новой один раз в 1000 миллионов лет, что составляет лишь часть вероятной продолжительности ее жизни. То, что оказалось возможным для каждой звезды, а следовательно, и для нашего Солнца, снова придало всему происходившему на небе новый, весьма тревожный для нас вид. В 1928 г. Милн в своей общей теории строения звезд предложил также теорию, объяснявшую причину звездной катастрофы «разрушением» ее нестабильной внутренней структуры. Однако ясно, что лишь глубокое знание внутренних процессов, протекающих внутри звезд, должно решить, каковы могли быть условия таких катастроф. [Весьма возможно, что определенная структура части звезд предрасполагала их к таким вспышкам, которые могли повторяться. Правда, известно также несколько случаев, когда новая, уменьшившись до совершенно маленькой звездочки, впоследствии достигала еще большего блеска.]

ГЛАВА 40

ОБЫЧНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Теперь перейдем от особых объектов к множеству обычных звезд. Обычных, но не одинаковых. Мы знаем с древности, что звезды отличаются друг от друга по блеску. Именно это и придавало живописность звездному небу. Кроме того, они различаются еще и по цвету.

Птолемей с древности установил (в списке звезд, приведенном в его обширном труде) для различий блеска шесть классов звезд, которые он назвал звездами первой, второй и т. д. до шестой величины. Их насчитывалось 15, 45, 208, 474, 217 и 49 соответственно. Последние два класса, еще видимые простым глазом, показались ему весьма неполными. Название «величина» для обозначения блеска звезд не означает, что если звезда ярче, то она должна быть большой, но включает в себя предположение, что яркие звезды имеют большие размеры, чем слабые. Позднее Тихо Браге ошибочно утверждал, что диаметр звезд первой величины равен 2′, а третьей 1′. Так как человеческий глаз может легко уловить различия блеска меньше одной звездной величины, то Птолемей характеризовал многие звезды словами «меньшая» или «большая».

На протяжении веков строительства новой астрономии точное определение положений и движений настолько захватило все помыслы, что блеску звезд уделялось мало внимания. В звездных атласах [XVII и XVIII вв.] видное место занимали изображения созвездий в виде фигур людей и животных (в традициях древности), между тем как изображения самих звезд часто не заметны. Перелом в направлении рациональной современной картографии неба наступил в XIX в. благодаря работе Ф. Аргеландера. С 1837 г. он оказался в Бонне без инструментов, так как обсерватория должна была еще строиться. В эти годы он занялся составлением атласа всех звезд (рис. 64), видимых простым глазом, со всеми их точными величинами, которые были установлены на основании повторных тщательных глазомерных сравнений. В этой «Uranometria Nova» (1843 г.), предназначенной для замены старой «Уранометрии» Байера, численность шести классов соответственно была 14, 51, 153, 325, 810 и 1871. Регулярное возрастание



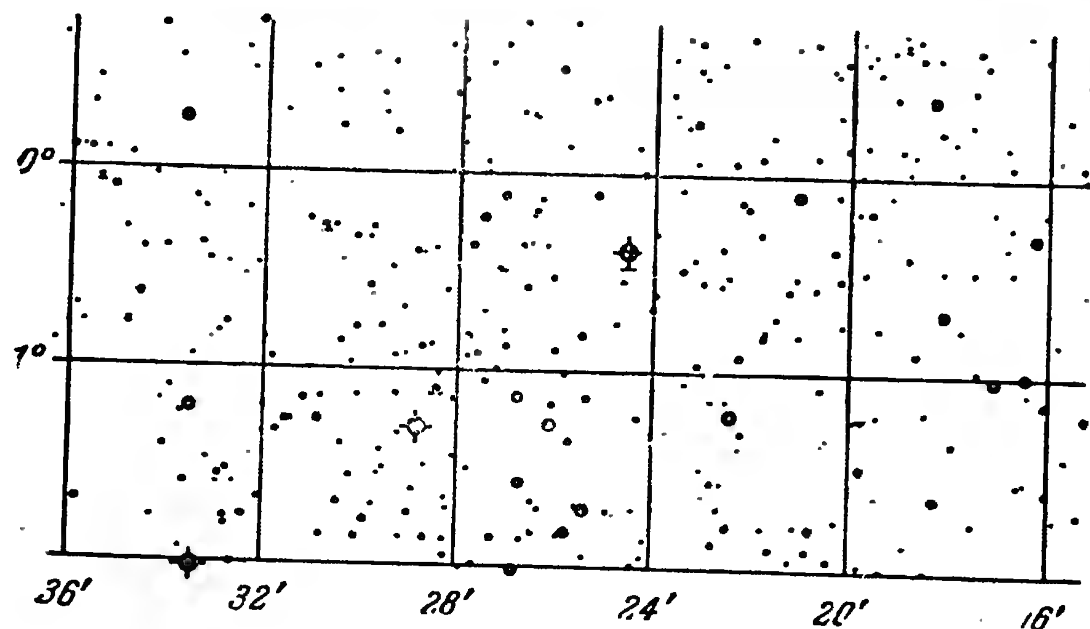


Рис. 64. Созвездие Ориона в «Uranometria Nova» Аргеландера (вверху). Телескопические звезды в «поясе» Ориона по атласу Аргеландера (внизу).

этих чисел показывает, как неполно были представлены слабые звезды во всех прежних атласах. В приложенном к атласу каталоге, точно так же как и у Птолемея, самые яркие и самые слабые звезды каждого класса специально отмечались (например, для третьей величины: 2, 3 и 3, 4).

Примеру Аргеландера последовал Эдуард Хейс из Мюнстера, который благодаря весьма острому зрению смог добавить сюда еще большое число более слабых звезд, которые он обозначал как звезды 6, 7 величины. Его «Atlas coelestis novus» («Новый атлас неба»), вышедший в 1872 г., содержал в общей сложности 5421 видимую звезду (вместо 3256 объектов у Аргеландера). Так как оба эти астронома жили в северной Германии, их работы не охватывали южное полушарие дальше 40° южного склонения. Этот пробел был заполнен, когда североамериканский астроном Бенджамин А. Гулд (1824—1896), изгнанный из своей обсерватории в Албани (из-за ссоры с кураторами), был приглашен в Кордову (Аргентина) организовать первую аргентинскую обсерваторию. Благодаря необычно ясному небу ему удалось вместе со своими ассистентами выпустить в 1879 г. «Uranometria Argentina», атлас и каталог, в котором были прибавлены еще видимые простым глазом звезды седьмой величины. Благодаря тщательному сравнению Гулду удалось дать блеск звезд еще точнее, до десятых долей звездной величины.

Такой точности достигали и раньше. Человеческий глаз может различить более тонкие отличия в блеске, чем целые звездные величины. «Степени», применявшиеся Аргеландером для переменных звезд, соответствовали примерно одной десятой звездной величины. Большое число такого рода оценок малых различий блеска звезд, выполненных Вильямом Гершелем в прошлом веке, осталось необработанным и по большей части неопубликованным. Впоследствии выяснилось, что эти величины вполне пригодны и выведены с точностью до десятых долей звездной величины. Сын Вильяма Джон Гершель, продолжавший работу отца во всех областях, отправился с 20-футовым телескопом на мыс Доброй Надежды, где он пробыл с 1834 по 1837 г. Расположив южные звезды в ряды последовательного блеска, он смог вывести звездные величины с двумя десятичными знаками.

Благодаря такому добавлению десятичного знака смысл звездной величины полностью изменился. Из качественной характеристики класса, порядкового номера, она стала количественным признаком, величиной, численной мерой, которую можно было делить на части.

Что означает различие блеска в одну звездную величину? Мнение Вильяма Гершеля, которое разделял также и его сын, упоминалось в главе 31. Они полагали, что звезда первой вели-

чины, если ее удалять на расстояние в 2, 3 или 7 раз дальше, будет выглядеть как звезда 2, 3 или 7 величины. Это означало, что блеск звезд можно было представлять в виде обратных квадратов их расстояний: $^1/_4$; $^1/_9$; $^1/_{49}$. В то же время, по оценке Джона Гершеля, звезда шестой величины давала в 100 раз меньше света, чем звезда первой величины. Штейнхель в 1835 г. принял, что звездные величины дают не различия в количестве света, а отношение интенсивностей; для разности в одну звездную величину он принял для отношения интенсивностей значение 2,83. Оно совпало с тем, которое позднее, в 1869 г., Фехнер сформулировал как «психофизический закон»: то, что определяют как равную оценку разности яркостей, не является постоянной разностью количеств света, а лишь постоянным процентным отношением количеств света. Фехнер указал, что исходным пунктом его исследования был удачно подмеченный факт, что в серо-белом облаке различие яркостей оставалось точным и даже весьма отчетливым, когда его рассматривали через темное стекло. Еще шире и в более общем виде этот закон выражался так: физическое восприятие уменьшается как логарифм физического воздействия [1]. По фехнерову закону отношение двух последовательных звездных величин должно было оставаться постоянным. Его надо было определять из фотометрических измерений.

Выше уже говорилось о первых фотометрических измерениях звезд, выполненных Джоном Гершелем в 1836 г. при помощи «астрометра» на мысе Доброй Надежды. Это были всего 65 ярких звезд, почти исключительно южных. Гершель мог измерять только яркие звезды потому, что для сравнений блеска ему было необходимо звездообразное изображение Луны, а при ярком лунном свете более слабые звезды не видны. После этого следует упомянуть измерения Л. Зейделя в 1852—1860 гг. Он использовал сконструированный Штейнхелем фотометр, в котором сравнивался свет двух звезд, отбрасываемый зеркалами в один и тот же телескоп. Экстрафокальные изображения различных размеров уравнивались в яркости путем изменения диаметров изображений Измерения были весьма хорошими. Поверхности можно было выровнять по яркости точнее, чем светлые точки: они соприкасались и при выравнивании разделяющая их граничная линия становилась невидимой. Измерения Зейделя охватывали 208 звезд. Этот метод был применим только к ярким звездам и не мог получить широкого распространения, подобного позднее разработанным измерениям со звездным фотометром. Вскоре стал использоваться для измерения блеска многих звезд фотометр Целльнера.

Эти первые измерения показали, что так называемые звезды первой величины значительно отличаются друг от друга. Первой величиной называют все, что превышает определенную границу.

Можно заметить на глаз, что, например, Процион на целую величину превосходит Регул, а Сириус еще значительно ярче Проциона. Штейнхель нашел очень большой разброс значений отношения блеска звезд первой и второй величины. У более слабых звезд это отношение было более постоянным и уменьшение блеска на одну звездную величину соответствовало ослаблению в 2,2—2,5 раза. Последнее число стало наиболее употребительным, так как одна яркая звезда излучала больше света, чем звезда пятой величины, в $(^5/_2)^5 = 3125 : 32$, т. е. примерно в 100 раз. В 1850 г. Погсон из Оксфорда предложил ввести это соотношение в качестве определения и таким образом использовать заведомо искусственные, вычисленные по измерениям блеска звездные величины. Следовательно, если 5 величин точно совпадали с отношением 100 (т. е. с разностью логарифмов 2,0), то для двух соседних величин разность этих логарифмов составляла точно 0,40, а само отношение 2,512. С тех пор оно и вошло в общее употребление. Результаты фотометрических измерений давались в каталогах не как значения блеска и не как их логарифмы, но как числа, примерно в $2^1/_2$ раза больше этих логарифмов. Это были фотометрические величины, которые уменьшались с возрастанием блеска. Блеск звезд ярче первой величины получил отрицательные значения. В ряду по восходящему блеску Регул получил значение 1^m, 5; Альдебаран 1^m, 0; Процион 0^m, 5; Вега 0^m, 1. Канопус и Сириус стали — 1^m, 0 и — 1^m, 4 величины, Юпитер — 2^m, 5, а Венера — 5^m. Не было причин исключать из этой системы Солнце и Луну. Полная Луна оказалась примерно — 12-й величины, а Солнце — 26^m, 7.

На Астрофизической обсерватории в Потсдаме и на обсерватории Гарвардского колледжа в Кембридже (штат Массачусетс) в последней четверти XIX в. было проведено два важных мероприятия по определению блеска звезд, охватывавшие звезды до 7^m, 5. Измерения в Потсдаме были выполнены Густавом Мюллером и Паулем Кемпфом в 1886—1905 гг. при помощи нескольких фотометров Целльнера разной светосилы по тщательному плану, разработанному в соответствии с лучшими немецкими традициями. Средняя ошибка результатов, основанных на двух измерениях, не превосходила 0^m, 7. Однако они охватывали только северное полушарие неба. Работа Гарвардской обсерватории, начатая в 1879 г., проводилась при помощи сконструированного директором обсерватории Эдвардом К. Пиккерингом (1846—1919) «меридианного фотометра», в котором каждая звезда при ее прохождении через меридиан уравнивалась с Полярной звездой при помощи поляризационного прибора (призмы из известкового шпата и николи). Все измерения были выполнены самим Пиккерингом, который мог констатировать с гордостью, что он в ходе этой и другой фотометрической работы сделал более миллиона измерений.

Начав с самых ярких звезд, он распространил эту работу и на более слабые звезды. Она была выполнена более грубо, с меньшей тщательностью, с большими ошибками и приблизительной редукцией, так что результаты оказались менее надежными и точными (средняя их ошибка составляла от $0^m, 10$ до $0^m, 15$), чем потсдамские значения. Однако Пиккеринг весьма остро чувствовал важность массовых, полных, хотя бы и более грубых данных, охватывающих все небо. Поэтому он позаботился о том, чтобы любая программа, выполненная в Гарварде, распространялась также и на южное небо. Какая бы программа наблюдений ни выполнялась в Кембридже, наблюдателя с тем же самым или однотипным инструментом отправляли на одну из южноамериканских станций, главным образом в Арекнпу (в Перуанских Андах), где был великолепный климат. Благодаря тому, что Пиккеринг дал полный однотипный каталог всего неба, позднейшие исследователи использовали главным образом гарвардские результаты, а не лучшие потсдамские.

Для полноты здесь следует упомянуть Оксфордский каталог (1885 г.) блеска звезд, видимых простым глазом, которые были измерены Притчардом при помощи «клинового фотометра». Определялось, при какой плотности клина из нейтрального темного стекла гасился свет звезды. По точности и диапазону этот фотометр уступал другим. Более важным было выполненное К. Шварцшильдом (тогда еще в Геттингене) в 1904—1908 гг. определение фотографического блеска звезд, которое называлось тогда не «фотометрией», а «актинометрией». Как пионер в этой области, он продолжил свою прежнюю венскую работу с экстрафокальными звездными дисками. Однако здесь производилось выравнивание поверхностных почернений при помощи так называемой штрихующей кассеты (Schraffier-Kassette). Благодаря тому, что пластинка двигалась из стороны в сторону, свет каждой звезды распределялся по одному из одинаковых квадратиков. Эта работа, как и все, что делал Шварцшильд, была образцом совершенного и тщательного выполнения. Точность ее была выше точности визуальных каталогов, так как средняя ошибка составляла лишь $0^m, 02$—$0^m, 04$. Однако была выполнена только первая часть работы в пределах зоны 20° широты к северу от экватора, включавшей 3500 звезд до $7^m, 5$. Так что хотя эти измерения и могли служить примером, но их нельзя было использовать в общих исследованиях.

То, что мы называем блеском звезды, является характеристикой для нас, а не для самой звезды; это ее видимый блеск. Существующее звездное небо имеет тот же вид для нас, какой оно имело для наших предков. Для каждого современного астронома само собой разумеется, что звезды, принадлежащие к какому-нибудь одному созвездию, такому, например, как Орион или Кассиопея, в действительности не связаны друг с другом и могут располагаться позади или впереди друг друга. Это казалось настолько само собой разумеющимся, что все были поражены, когда по движению, измеренному Проктором в 1869 г. и еще точнее Клинкерфусом из Геттингена в 1878 г., оказалось, что из семи звезд Большой Медведицы (составлявших известную с древности Колесницу) пять средних звезд взаимосвязаны и, как состав железнодорожных вагонов, мчатся друг за другом в направлении Орла [2]. Вторым поразительным фактом, обнаруженным позднее Герцшпрунгом в 1909 г., было то, что с другой стороны от нас значительно более близкий Сириус участвует в том же движении. Позднее были найдены еще другие группы звезд, движущихся в каком-нибудь одном направлении.

То, что мы наблюдаем, есть видимый блеск, который зависит также и от расстояния звезды. Неправильно говорить о том, что звезды первой величины — самые яркие светила, украшающие наше небо, и что Сириус и Канопус, Бетельгейзе и Ригель, Вега и Капелла принадлежат к одной семье. Измерение параллаксов вскоре показало, что некоторые из них, такие как α Центавра, Сириус и Вега, кажутся столь яркими только из-за большой близости к нам. В то же время почти незаметный параллакс Канопуса, Ригеля и Бетельгейзе свидетельствовал о том, что эти звезды относятся к совершенно особому классу звезд с гигантской светимостью. Как только астрономы получили в свое распоряжение фотометрическую видимую звездную величину и параллакс, было найдено удобное выражение светимости в «абсолютных величинах», т. е. величинах, которые имели бы звезды, если бы все они находились на одном и том же расстоянии в 10 парсек (т. е. со стандартным параллаксом $0'', 1$). Тогда для Сириуса с величиной $m = -1^m, 4$ и параллаксом $p = 0'', 37$ абсолютная величина (чаще всего обозначаемая M) будет равна $1^m, 4$. Для α Центавра с $m = 0^m, 1$ и $p = 0'', 76$, $M = 4^m, 5$ (т. е. на 3 величины слабее). Для Ригеля с $m = 0^m, 3$ и параллаксом самое большее в $0'', 0{,}1$ M будет ярче $-4^m, 7$ (т. е. на 6 величин ярче Сириуса). С другой стороны, для слабых соседних звезд было найдено: для двойной звезды 61 Лебедя ($m = 5^m, 6$ и $6^m, 3$ и $p = 0'', 30$) $M = 8^m, 0$ и $8^m, 7$, т. е. значительно слабее. У быстролетящей «звезды Барнарда» ($m = 9^m, 7$ и $p = 0'', 54$) $M = 13^m, 3$, т. е. еще в 100 раз слабее. Крайние значения абсолютной звездной величины отличаются друг от друга на 18—20^m. Это означало отношение светимостей от 16 до 100 миллионов. Когда определили абсолютную величину Солнца ($M = 4^m, 8$), оказалось, что оно расположено посередине: некоторые звезды были слабее Солнца почти в 10 000 раз, а другие — в 10 000 раз ярче него. Джинс обозначал их характерными названиями звезд-маяков и звезд-светлячков.

В то время как разность светимостей звезд непосредственно не заметна, а лишь выводится из других данных, разность цветов замечается сразу. Она была известна с древности, когда Птолемей выделил шесть желтоватых ярких звезд. Струве и другие наблюдатели двойных звезд в XIX в. заметили усиливавшееся из-за контраста (отчасти субъективное) большое различие в цвете компонентов. Нередко компоненты двойных звезд представлялись им как красные, зеленые или голубые. Фридрих Целльнер приспособил свой фотометр в качестве колориметра. Благодаря добавлению кварцевой пластинки, вращавшейся в поляризованном световом пучке, создаваемом искусственной звездой, можно было получить любой цвет. Однако такой колориметр не годился для определения цветов звезд, потому что он давал совершенно иные цвета. Цвета звезд составляют ряд, идущий от красного через желто-красный или оранжевый, желтый, светло-желтый к белому до голубовато-белого. Зеленого среди них не было. Это были «цвета накала», которые последовательно приобретало тело, накаляемое до все более высоких температур. Таким образом, цвет звезды можно было одновременно рассматривать как указание на ее температуру, а различие в цвете — как различие температур. Когда вследствие поглощения в облаках или в атмосфере звезды происходит покраснение света, цвет остается в пределах той же шкалы «цветов накала».

Юлиус Ф. Шмидт (так же как Герман Клейн) впервые выразил цвета в виде ряда чисел, где 0 означал чисто белый цвет, 4 — желтый, а 6—10 — все более глубокие оттенки красного цвета. Он ограничился рядом ярких звезд, так как интерес к цветам звезд не был в XIX в. столь большим. При фотометрических измерениях в Потсдаме оценивался также и цвет. Однако здесь цвета обозначались буквами от названий цветов: белый (weiss), желтый (gelb), красный (rot): W, GW, WG, G, RG, GR, R, а часто для более тонких различий добавлялись знаки плюс или минус. Подобные же буквенные обозначения, указывающие желтый, оранжевый и красный оттенки (W, Y, OY, O, OR, R), использовал также Фрэнкс в 1884 г., который, не ограничиваясь одномерными рядами цветовых оценок, добавлял числа степени насыщенности, применяя таким образом двумерную схему. Наиболее важным вкладом в развитие знаний о цветах звезд была работа Г. Остхоффа (любителя астрономии из Кельна), который в 1883—1899 гг. получил (в шкале Юлиуса Шмидта) оценки цветов более 1000 звезд до пятой величины. При этом он приобрел такой навык, что смог давать результаты до десятых долей, со средней ошибкой не более 0,2. Весьма обширная работа в области оценок цвета, особенно всех красных звезд, была в то же время выполнена Фр. Крюгером. Для измерения цвета К. Графф впоследствии

изготовил колориметр, в котором с помощью клина из красного стекла искусственной звезде можно было придать различный цвет от белого до красного. Конечно, уравнивание обеих звезд по цвету производилось глазомерным способом.

Впоследствии везде вместо самого цвета определялись связанные с ним величины, так называемые «колор-эквиваленты». Прогресс в науке с тех пор характеризовался тем, что обозначения, выражавшие качественные оценки, заменялись численно измеримыми количественными. С тех пор появилась возможность измерять фотографические звездные величины, которые могли использоваться для получения разности между визуальной и фотографической величиной звезды. Для белых звезд эта разность (так называемый «колор-индекс») была принята равной нулю, для красных — доходит до двух величин, а у темно-красных — еще больше. Другой характеристикой была так называемая «эффективная длина волны» — среднее из всех длин волн, участвующих в образовании фотографического изображения звезды. Г. Комсток определил эту величину, поставив перед объективом грубую решетку и измеряя расстояние между центральным изображением и звездоподобными спектрами первого порядка. Для белых и красных звезд эффективная длина волны равна примерно 4100 Å и 4400 Å. Обе эти характеристики, как и сам видимый цвет, являются прямым, численным выражением распределения интенсивности по спектру. Все эти характеристики — колор-эквивалент, колор-индекс и эффективная длина волны — определяли температуру, так как по формуле Планка с возрастанием температуры интенсивность более коротких длин волн возрастала сильнее, чем более длинных.

Рассмотрение самих спектров показывало большое разнообразие в природе звезд. Можно сказать, что лишь с открытием спектрального анализа началось развитие наших знаний о природе звезд. Благодаря этому методу наблюдения, в течение почти вековой работы была создана наука о светящихся небесных телах, наполнявших вселенную своим излучением.

Уже Фраунгофер в 1817 г. заметил, а в 1823 г. более точно описал, что в спектре некоторых звезд, например, Сириуса и Кастора, появляются иные темные линии, чем в спектре Солнца. Однако его время и внимание поглотили другие обязанности. Он умер прежде, чем смог этим заняться. Вскоре после того, как Кирхгоф заложил основы спектрального анализа и открыл значение темных линий, были построены спектроскопы. Приладив их к телескопам, свет слабых звезд можно было разложить на вполне отчетливый спектр. Кроме Резерфорда в Америке и Донати в Италии, Вильям Хеггинс в Англии (на своей частной обсерватории Тулс-Хилл) и патер Анджело Секки (на обсерватории Вати-

кана в Риме) были первыми, кому удалось добиться успеха в этой новой области исследования[3]. Хеггинс изучил спектры многих ярких звезд, занимался темными линиями поглощения в спектрах и в 1863 г. смог установить, что в звездах обнаруживаются те же самые элементы (водород, натрий, кальций, магний и железо), что



Рис. 65. Типы звездных спектров по Секки. Сверху вниз: 2-й тип (Солнце, Поллукс), 1-й тип (Сириус, Вега), 3-й тип (β Пегаса), 4-й тип (152 Скьеллерупа).

на Земле и на Солнце. Этим было определенно доказано ранее только предполагавшееся единство материального состава всей вселенной.

Секки в 1863—1868 гг. исследовал спектры примерно 4000 звезд и нашел, что их можно разделить на 4 типа (рис. 65) с несколькими переходными или промежуточными формами. Первый тип, к которому принадлежала почти половина всех звезд (все белые или голубовато-белые), обнаруживал 4 сильные отчетливые линии: одну красную, одну зеленую и две сине-фиолетовые (все эти — линии водорода), а кроме того, еще несколько очень слабых линий. У второго типа — желтых звезд (Капелла, Процион, Арктур, Альдебаран) спектр был одинаков со спектром Солнца. Он состоял из многочисленных тонких линий, но несколько более сильных, чем у Солнца. Третий тип красных звезд (Бетельгейзе, α Геркулеса, Антарес и Мира Кита) обнаруживал, кроме того, еще несколько темных полос, которые с фиолетовой

стороны были резко ограничены, а к красному концу спадали постепенно *). Свидетельством острой наблюдательности Секки было то, что он распознал в 1868 г. еще четвертый тип, охватывавший лишь небольшое число слабых звездочек интенсивно красного цвета. Они обнаруживали иные, более темные полосы, ослабевавшие к ультрафиолетовому концу. Секки заметил уже, что по длине волны они совпадают с полосами, появлявшимися при электрических разрядах в углеводородных соединениях. [Вскоре они были отождествлены с яркими эмиссионными полосами, наблюдавшимися у комет.] Секки заметил также некоторые исключительные звезды, например γ Кассиопеи и переменная δ Лиры, которые обнаруживали яркие эмиссионные линии, так же как и новая звезда, появившаяся в 1866 г. в Северной Короне.

В 1864 г. Хеггинс направил свой спектроскоп на планетарную туманность в Драконе и открыл, что спектр ее состоит лишь из трех эмиссионных линий в зеленой области. Полагали, что одна линия принадлежит водороду H_β, а две другие — азоту.

То же самое было обнаружено и у большой туманности Ориона. Это решило вопрос, поставленный еще Гершелем: является ли она туманностью, состоящей из звездочек или из «светящейся жидкости». Оказалось, что туманность Ориона состояла из разряженного раскаленного или светящегося газа. Почему светящегося? Первоначально, размышляя об электрических разрядах в гейслеровых трубках, обходились словом «люминесценция». Однако таких газовых туманностей было очень мало. Большинство других не разрешавшихся на звезды туманностей, таких как известная туманность Андромеды, видимая простым глазом, обнаруживали непрерывный спектр. Это указывало на то, что в действительности они были скоплениями невидимых слабых звезд.

Хеггинс также первым попытался измерить на основании принципа Доплера лучевую скорость по смещению линий поглощения (рис. 66). Его примеру вскоре последовали Гринвичская обсерватория[4]. Однако эти измерения были столь сложны, что ошибки найденных скоростей нередко составляли десятки километров в секунду. Только когда в 1887 г. Фогель и Шейнер в Потсдаме построили спектрограф со всеми предосторожностями против гнутия инструмента и изменения температуры, им удалось получить фотографические спектры со значительно более высокой степенью точности. По результатам их измерений теперь с большой ясностью обнаружилось, что мы попеременно то приближаемся к некоторым звездам, то удаляемся от них вследствие годичного движения Земли по своей орбите.

Так была на практике доказана истинность принципа Доплера, которую ранее некоторые физики ставили под сомнение. Для

*) В своих публикациях Секки приводил спектры в красках.

тех же, кому это еще было необходимо, оно одновременно могло служить доказательством орбитального движения Земли вокруг Солнца.

Четыре спектральных типа Секки все еще употреблялись в качестве основной классификации. Фогель внес в них небольшое изменение (он назвал эти классы I, II, IIIa и IIIb), но дал им новое объяснение. По его мнению, они представляли собой ступени естественного развития, возникавшие при охлаждении от I к II и от II к IIIa или IIIb. Подразделы Ib для белых звезд с узкими линиями, Ic и IIb для звезд с эмиссионными линиями несколько нарушали этот ряд. Возникли возражения также и против связи формальной классификации с эволюционной теорией. В Потсдаме в соответствии с этими классами было начато спектроскопическое обозрение (Durchmusterung) звезд до седьмой величины. Однако работа осталась незаконченной (были опубликованы результаты только для зоны от 0° до 20° по склонению), так как появилась фотография звездных спектров, и утомительное разглядывание в телескоп слабых цветных полосочек заменил значительно более простой и удобный метод работы.

Пионерами в этой области были Генри Дрэпер в Америке и Хеггинс в Англии. При помощи им самим отшлифованного зеркала с отверстием в 72 *см* и кварцевой призмы, установленной перед фокусом (кварц не поглощает ультрафиолетовые лучи, как стекло), Дрэперу удалось в 1872 г. впервые сфотографировать спектр звезды (Веги). Затем он работал с рефрактором в 28 *см* и спектрографом Браунинга, при помощи которых в 1879—1882 гг. снял спектры пятидесяти звезд. Вскоре после Дрэпера спектры звезд удалось сфотографировать также и Хеггинсу. При этом он открыл в ультрафиолетовой части спектра Веги, Сириуса и других белых звезд ряды линий (рис. 66), располагавшихся все более и более плотно друг к другу. Они продолжали ряд водородных линий (H_γ и H_δ в голубой и фиолетовой частях спектра), поэтому Хеггинс без колебаний приписал их водороду. Это были те самые ряды, которые уже наблюдались фотографически в спектре хромосферы и которые вскоре после этого были столь изящно представлены формулой Бальмера.

После смерти Дрэпера в 1882 г. его вдова подарила все инструменты и некоторую сумму денег в виде «Мемориального фонда Генри Дрэпера» Гарвардской обсерватории для завершения работы по звездным спектрам. Редко скромная денежная сумма приносила столь большую пользу науке. Пиккеринг использовал ее на приобретение объектива для широкоугольного телескопа, перед которым была помещена неподвижная «объективная призма» — большой стеклянный диск, отшлифованный в виде призмы с малым углом преломления. Благодаря этому в фокальной плоскости

вместо круглых изображений звезд получались линейчатые или полосчатые спектры (рис. 67). На одной пластинке одновременно получались спектры сотен звезд в большом поле зрения. Их классифицировали по внешнему виду, обозначая буквами A, B, F, G, K, M, N, выражавшими существенные различия звездных спектров. A и B оказались идентичными первому типу Секки; F, G, K — второму типу; M — третьему, а N — четвертому. Первый «Henry

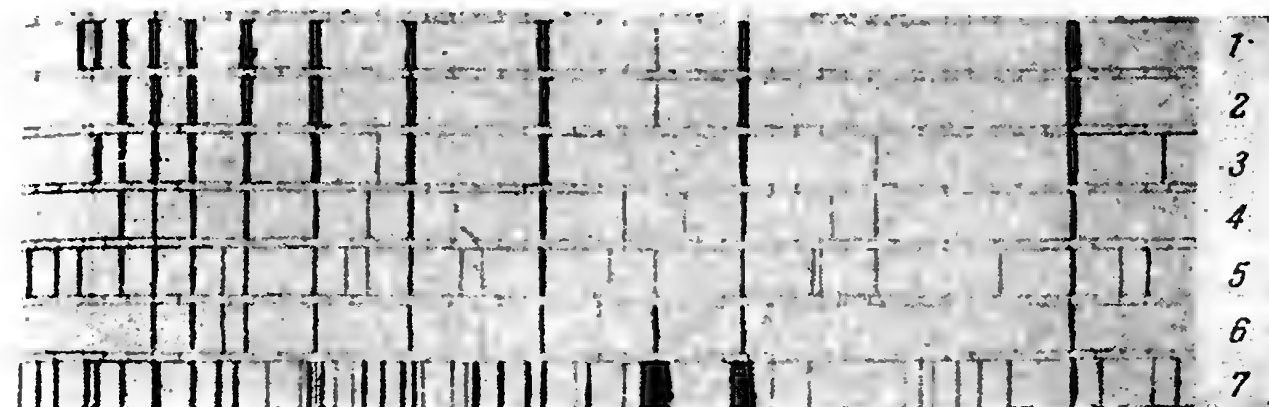


Рис. 66. Первые спектры звезд в ультрафиолетовой области, полученные Хеггинсом. 1. Вега. 2. Сириус. 3. η Большой Медведицы. 4. Спика. 5. Альтаир. 6. Денеб. 7. Арктур.

Draper Catalogue» («Каталог Генри Дрэпера») 1890 г. давал спектры более 10 000 звезд. При этом, однако, для слабых спектров и плохо различимых линий встречались ошибочные отождествления, которые следовало улучшить в дальнейшем. Позднее эта работа была продолжена с лучшими инструментами и в большем масштабе. Десятидюймовый Бетч-телескоп (названный так по имени человека, давшего средства на его приобретение) был оснащен большой объективной призмой, угол преломления которой составлял несколько градусов. Однотипные пластинки были получены в Арекипе. Таким образом эта работа распространилась также и на все южное небо.

Спектры ярких звезд, снятые с большой дисперсией, были исследованы Антонией К. Мори. Она разделила их в 1897 г. на 24 класса от I до XXIV. Это была более подробная классификация, которая, однако, не вошла в употребление. У многих ярких звезд в Орионе, составлявших первые классы I—IV и названных B-звездами в каталоге Дрэпера, Мори заметила несколько характерных линий, которые временно были названы «линиями Ориона». Фогель и Шейнер обнаружили эти линии и у некоторых других звезд. После 1895 г., когда Рамзай открыл гелий на Земле, оказалось, что все эти линии представляли собой линии гелия. Мори различала в каждом классе звезды с широкими (a), очень

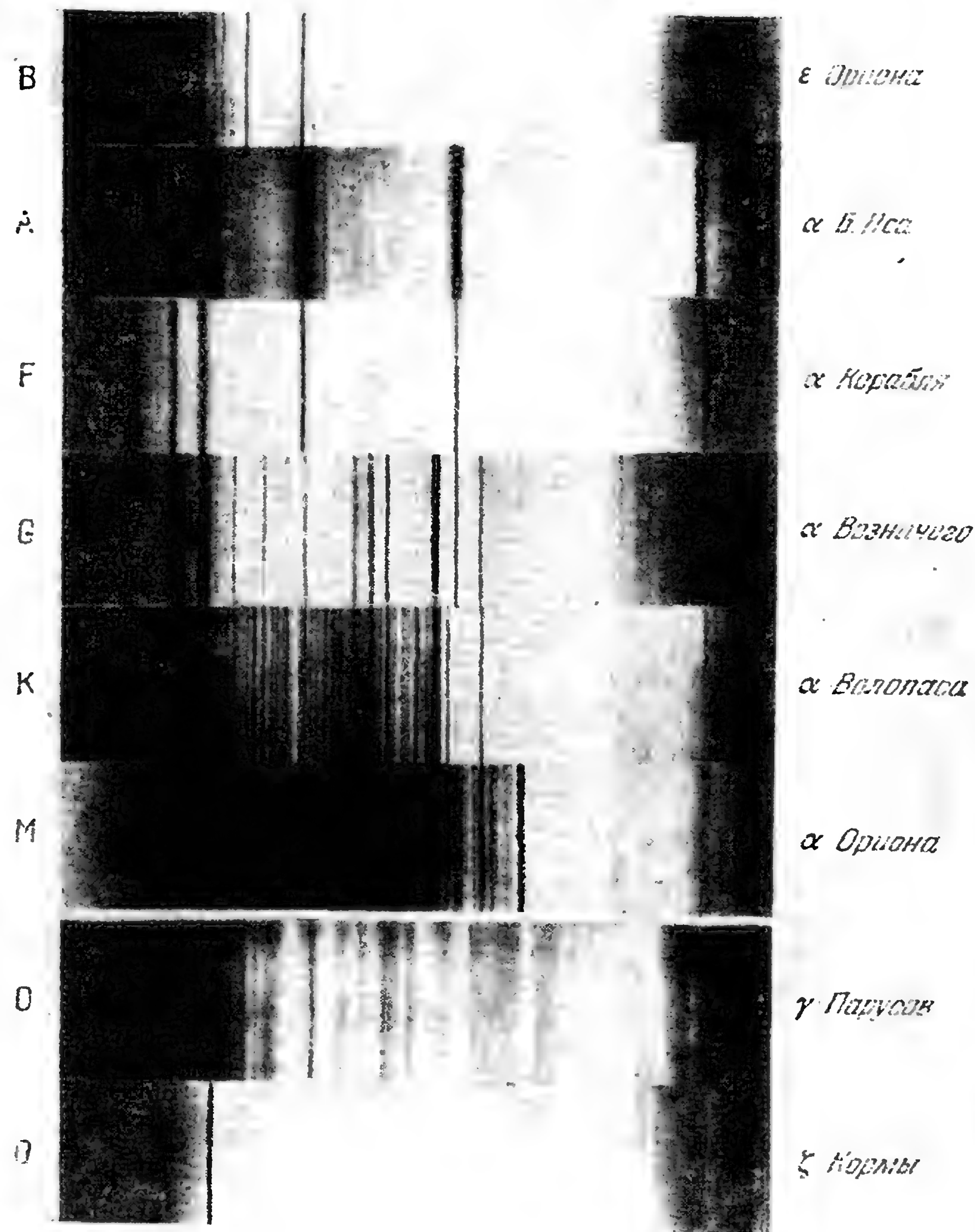


Рис. 67. Гарвардские типы спектров звезд.

широкими (b) и узкими (c) линиями. У c-звезд линии были не только узкими, но также и отличались по интенсивности от линий a- и b-звезд. Прибавился список линий, которые в c-звездах были значительно более сильными, чем в других, и потому выступали на первый план. В этот список она включила характеристические линии этих звезд, которые, возможно, следовало рассматривать как отдельный класс. Действительно, эти c-звезды впоследствии оказались особо важными.

Не менее важной целью фотографирования с большими инструментами было получение спектров звезд до девятой величины. Это была массовая работа в лучшем смысле слова. С помощью щелевого спектрографа, на котором каждую звезду приходилось снимать отдельно, никогда не удалось бы выполнить эту работу. Колебания воздуха не портили резкости щелевого спектра, но делали нерезкими изображения, полученные при помощи объективной призмы. Таким образом, эти спектры годились не для тонкого детального изучения линий, а только для классификации. Классификация была творением исключительно Анни Дж. Кэннон, приобретшей огромный опыт и навык в установлении ничтожных различий в спектрах звезд. Она использовала при этом буквенную систему первого дрэперовского каталога, которая теперь, на Гарвардской обсерватории, была уточнена. Таким образом, гарвардская система получила всеобщее преобладание в звездной спектроскопии. Эта работа охватила звезды всего неба до девятой величины. Благодаря тому, что ряд спектральных классов шел равномерно и непрерывно, начиная с B-звезд (с линиями гелия), A-звезд (с темными линиями водорода) через F- к G-звездам (типа Солнца) и K- до M-звезд (с полосами), переходные формы можно было выразить в десятых долях: B0, B5, B8, A0, A2, A5, A8, F0 и т. д. При этом на глаз редко можно было заметить различие меньше $^1/_4$ класса. Точные десятичные знаки были получены только в последнее время как результат новых измерений и вычислений. В этот ряд можно было включить 99% всех звезд, прибавив к концу боковые ветви R- и N-звезд, а также S-звезд (с различными системами полос) и присоединив к началу O-звезды.

Так, после многих лет работы большой «Henry Draper Catalogue» стал охватывать величины и спектры более 225 000 звезд. В 1918—1924 гг. он был опубликован в девяти томах Гарвардских Анналов.

Буква O применялась для некоторых редких спектров, показывавших на непрерывном фоне яркие, главным образом широкие эмиссионные линии. Две наиболее заметные из них имели длины волн 4686 Å и 4650 Å. Несколько звезд пятой и шестой величины в Лебеде с такими достопримечательными спектрами были визуально замечены парижскими астрономами Вольфом и Райе уже

в 1867 г. Вот почему звезды этого типа называют звездами Вольфа — Райе. На пластинках южного неба Пиккеринг нашел звезду второй величины в Корабле[5], γ Парусов, наиболее яркую из звезд этого типа, иногда называвшихся звездами «пятого» типа. Еще важнее была вторая находка 1896 г. В спектре другой яркой звезды Корабля, ζ Кормы, наряду с правильным рядом водородных линий, была обнаружена другая серия линий, которую можно было представить той же формулой Бальмера, если целые числа 3,4,5,... заменить дробными: $3^1/_2$, $4^1/_2$, $5^1/_2$ и т. п. Таким образом, сначала эту «серию Пиккеринга» приписывали водороду, находившемуся в неизвестных необычных условиях. Ридберг показал, что к этой серии должна относиться также и линия 4686 Å, длина волны которой составляла $^5/_7$ от первой линии Бальмера H_α. Поскольку серия Пиккеринга в О-звездах проявлялась то в виде эмиссионных линий, то в виде линий поглощения, они перекинули мост к звездам класса B0, где также были заметны слабые линии поглощения. Так класс О был поставлен впереди класса В.

Серия спектральных классов, обозначаемых последовательностью букв от О и В к М и N, соответствовала убывающему ряду температур от высоких к низким. С ним невольно связывалось высказанное Фогелем предположение о том, что одновременно он представлял собой ряд эволюционного развития, который должны были пройти все или большинство звезд при постепенном охлаждении. Отсюда и происходят все еще употребляющиеся названия «ранних» и «поздних» спектральных классов звезд. Однако возникли и трудности. Охлаждение означает уменьшение интенсивности, но малые тела остывают быстрее больших. Мунк в 1892 г. указал, что часто у двойных звезд яркая красная главная звезда бывает связана с голубовато-белым спутником. В то же время не встречалось яркой белой звезды со слабым красным спутником, что должно было бы наблюдаться при таком ходе эволюционного развития.

Совершенно другую теорию еще раньше предложил Локьер. Он не только обогатил спектральный анализ множеством практических инструментов и открытий, но и составил себе имя как оригинальный теоретик. Локьер изложил свои порой более или менее фантастические идеи во многих работах, например, в «Chemistry of the Sun» («Химии Солнца»), вышедшей в 1887 г., и в «Inorganic Evolution» («Неорганической эволюции») — 1900 г. Благодаря своим исследованиям спектров Солнца и лабораторных источников он пришел к убеждению (высказанному впервые в 1878 г.), что наши химические элементы не элементарны. Они состоят из частичек первичной материи, «прото-элементов», на которые атомы элементов и распадаются при высокой температуре или сильных электрических разрядах. При этом возникают

особые линии, которые он назвал «enhanced lines» («усиленными линиями»). Мы называем их «искровыми линиями» в противоположность «дуговым линиям», потому что при переходе от дугового спектра элемента к искровому спектру его линии усиливаются. Это были, как заметил Локьер в 1900 г., те самые линии, которые мисс Мори определила как с-линии. На многих из своих снимков звездных спектров Локьер нашел, что почти в каждом типе у некоторых звезд эти искровые линии очень сильны, а у других звезд они весьма слабы. Первые Локьер рассматривал как самое первоначальное состояние, при котором прото-элементы играли большую роль. Так он пришел к принятию предположения о развитии звезд (совпадающего с теоретическими выводами Лейна) сначала по восходящей, а затем по нисходящей линии. Ряд объектов возрастающих температур начинался с разреженных холодных туманностей. Затем шли звезды третьего, второго и первого типов с сильными искровыми линиями: Антарес (М по гарвардской классификации), Полярная звезда (F8), Денеб (А2), Ригель (В8) до ε Ориона, средней звезды в поясе Ориона (В0). Затем Локьер поместил ζ Кормы с серией Пиккеринга, как линиями спектра прото-водорода. Звезда γ Парусов имела самую высокую температуру. От этой вершины шел звездный ряд с нисходящими температурами со слабыми или отсутствующими искровыми линиями, с возрастающим сгущением: через Алголь (В8), Сириус (А0), Процион (F5) и Арктур (К0) к N-звездам (рис. 68).

Такая классификация звездных спектров вместе с теорией их эволюции, однако, не получила широкого признания у астрофизиков того времени. Это произошло потому, что Локьер связал его с так называемой метеорной гипотезой, по которой первоначальным состоянием был метеорный рой, из-за разогревания при взаимных столкновениях все более и более превращавшийся в газ и затем в звездное состояние.

Значение этой теории стало ясно только тогда, когда более полные данные о параллаксах и собственных движениях позволили сделать определенные заключения относительно абсолютных величин, размеров и плотностей звезд. Уже упоминавшееся гигантское различие звезд по светимости стало ясным только тогда, когда звезды были разделены по их спектральным классам. А-звезды и еще более В-звезды, очевидно, значительно превосходили Солнце по светимости. То, что светимость регулярно убывала от В к А и от F к G, при падении температуры совершенно понятно. Однако у К- и М-звезд, несмотря на уменьшение температуры, средняя светимость снова возрастала. Это противоречие было разъяснено Э. Герцшпрунгом, который заметил в 1905 г., что встречаются два вида G-, К- и М-звезд: очень яркие

(т. е. с большой поверхностью) и очень слабые (с малой поверхностью). Он назвал их «звездами-гигантами» и «звездами-карликами». Эти названия употребляются и до сих пор; теперь их ставят перед обозначением спектрального класса в виде букв «g» (гигант) и «d» (карлик). Спектральный класс Солнца dG0.

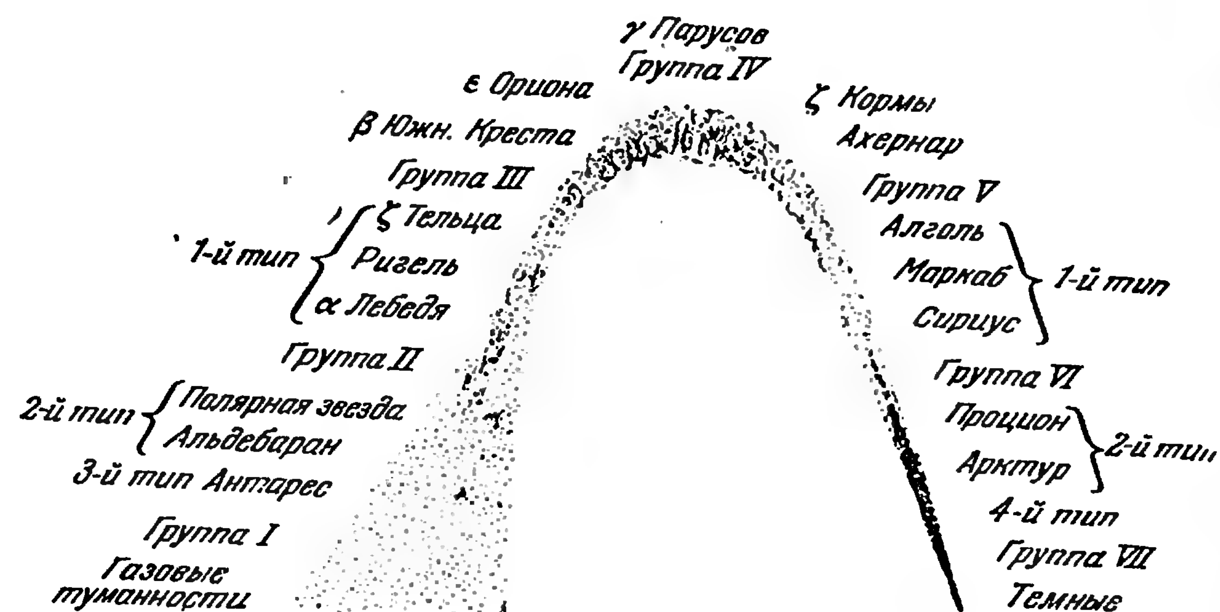


Рис. 68. Эволюционная последовательность звезд согласно Локьеру.

Число красных карликов K и M, многочисленных, но слабых и наблюдающихся поэтому только в ближайших окрестностях Солнца, оказалось ничтожно малым по сравнению со звездами-гигантами, которые рассеяны более редко, но видны на расстоянии, в тысячи раз большем. При этом Герцшпрунг одновременно нашел, что все c-звезды мисс Мори отличались совершенно незаметными параллаксами и исключительно малым собственным движением. Следовательно, они находились на очень большом расстоянии и должны были иметь высокую светимость. «Они являются как бы китами среди рыб» [6],— так метко выразился Герцшпрунг, воспользовавшись зоологическим сравнением. Позднее они были названы «сверхгигантами». Переменные звезды типа δ Цефея также обнаруживали особенности c-звезд и должны были быть (как мы уже упоминали выше) весьма разреженными гигантскими газовыми шарами. Рассмотрение всех данных о спектрах, светимостях и плотностях звезд привело Герцшпрунга и Г. Н. Рессела в Принстоне к построению знаменитой диаграммы Герцшпрунга — Рессела (рис. 69), графическому выражению за-

висимости между абсолютной величиной и спектром, широко известному и часто воспроизводимому чертежу, сделанному Ресселом в 1913 г. Координатами точки на этой диаграмме были

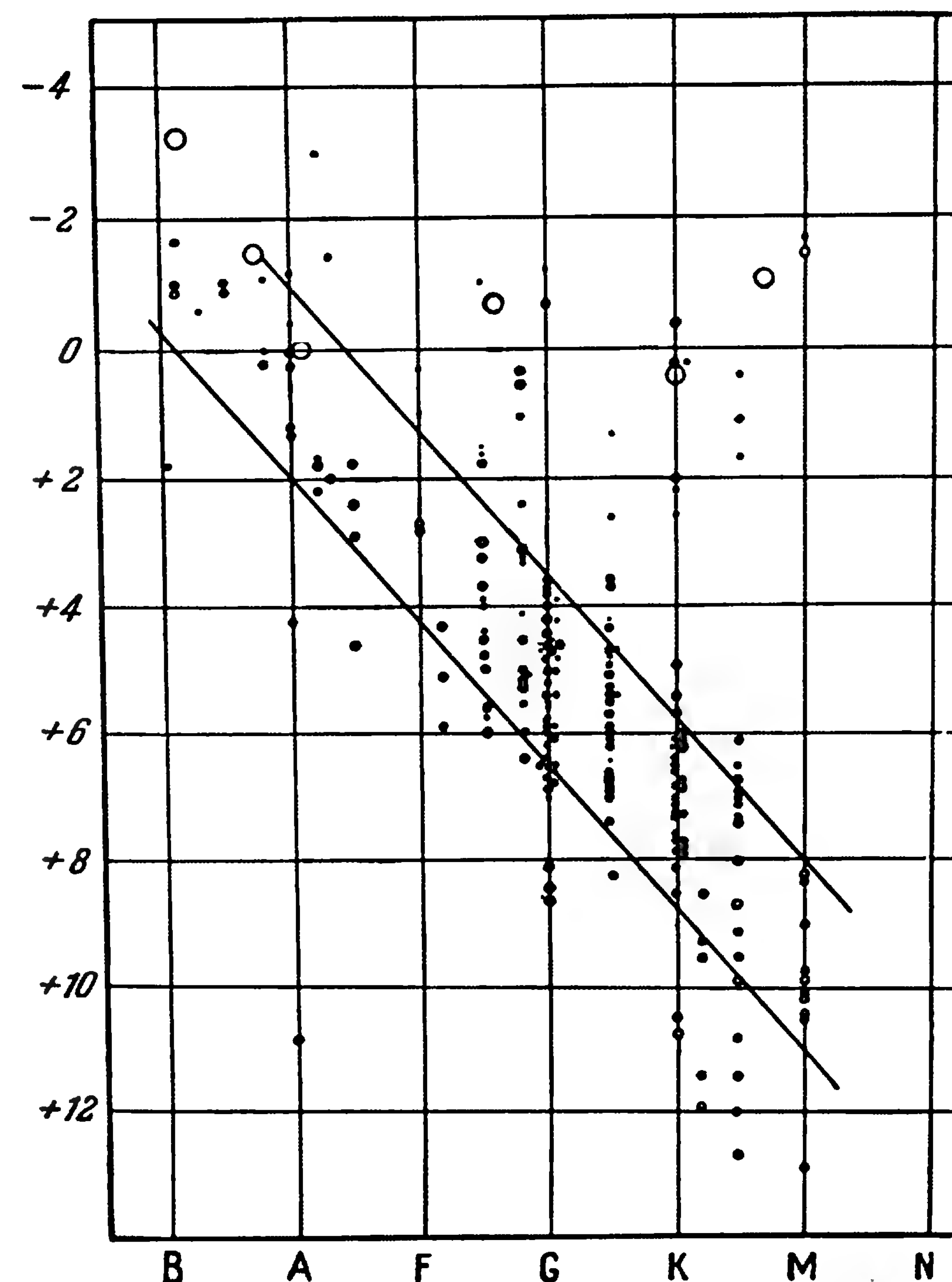


Рис. 69. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела.

абсолютная величина (M) и спектральный класс. Каждая звезда представлялась в виде точки, средние значения для групп звезд с малыми параллаксами наносились в виде больших кружков. Звезды располагались в виде двух полос. Одна шла примерно горизонтально, при абсолютной величине $M = 0$, т. е. через все спектральные классы звезд-гигантов, дававших примерно в 100 раз

больше света, чем Солнце. Вторая полоса располагалась наклонно к первой так, что светимость в последовательных классах звезд-карликов постепенно уменьшалась от A-звезд с абсолютной величиной 0. Для F-звезд абсолютная величина составляла 3^m, для G-звезд 5^m, для K- и M-звезд — от 7^m до 10^m. Наклонная полоса получила позднее название «главной последовательности», потому что к ней принадлежало подавляющее большинство звезд. Красные карлики, M-звезды с очень малой светимостью и абсолютной величиной от 10 до 15^m, продолжали эту главную последовательность до ее конца. Вверх она продолжалась до B- и O-звезд с абсолютными величинами от -1^m до -5^m. На той же высоте, с той же самой светимостью, над главной последовательностью располагался ряд обычных звезд-гигантов и редких c-звезд или сверхгигантов всех типов.

Разделение звезд на гиганты и карлики Рессел продемонстрировал на довольно интересном примере. Занимаясь затменными переменными, которые почти все были A- и B-звездами, он нашел две звезды класса G, одну (W Большой Медведицы) с периодом в 8 часов, а другую (W Южного Креста) с периодом в 198 дней. Найденные для них плотности, как было сказано выше (см. главу 39), для одной звезды оказались вдвое больше солнечной, а для другой $1/_{600\,000}$ солнечной. Следовательно, одна звезда была карликом, а другая — гигантским газовым шаром, т. е. сверхгигантом.

Странным объектом, не желавшим входить в обе упорядоченные ветви и стоявшим обособленно слева от диаграммы, оказалась маленькая звездочка десятой величины в Эридане. Она составляла вместе с соседней, еще меньшей звездочкой, двойную звезду o^2 Эридана с периодом более 200 лет. Она имела большое собственное движение и большой параллакс 0″, 20. Следовательно, это была звезда-карлик в 400 раз слабее Солнца, имевшая массу 0,4 солнечной, выведенную на основании ее орбитального движения. Все это должно было соответствовать красному цвету и небольшой излучательной способности звезды класса M. Однако она оказалась белой звездой со спектром класса A. Таков был первый образец звезды — «белого карлика». Спутник Сириуса также был весьма слаб и все же имел обычную массу. Годом позже, в 1915 г., В. С. Адамсу на Маунт Вилсон все же удалось получить спектр этой звездочки, несмотря на соседство яркого Сириуса, в спектре которого он почти тонул. Спектр этой звезды также оказался класса A с несколькими сильными водородными линиями. На диаграмме эта вторая звездочка присоединилась к звездочке Эридана. Как белые карлики они должны стоять на диаграмме обособленно, слева от главной последовательности. Это символизировало совершенно загадочный характер звезды с малой светимостью, умеренной массой и сильной излучательной

способностью. Звезда либо действительно имела очень небольшой объем и тогда ее плотность должна была быть в 60 000 раз больше плотности воды, либо это был лишь маленький кусочек излучающей поверхности большого темного шара. Были рассмотрены оба мнения о природе звезды. Они казались абсурдными.

Рессел сразу же в 1913 г. сопоставил свою диаграмму с теорией эволюции звезд Лейна. Ветвь звезд возрастающих температур изображалась на диаграмме горизонтальной полосой звезд-гигантов. Здесь возрастание температуры компенсировалось уменьшением поверхности в такой степени, что светимость оставалась одинаковой, пока звезда превращалась из красного гиганта в белого. На нисходящей ветви температура и поверхность уменьшались, и, следовательно, светимость убывала еще сильнее. Рессел отметил, что предположение Локьера, твердо обоснованное теперь данными о параллаксе и светимости, все же подтвердилось. Обе полосы диаграммы соответствовали локьеровским восходящей и нисходящей линиям развития. Однако его распределение трех типов звезд по восходящей линии, а четырех типов по нисходящей было весьма грубым. Теперь в эту картину гармонически включились также и различия спектров. Поскольку искомые линии Локьера были идентичны с c-линиями мисс Мори, они принадлежали самым большим сверхгигантам.

Зависимость между светимостью звезды и интенсивностью линий в ее спектре, столь заметная в c-звездах, проявлялась также (конечно, в меньшей степени) при сравнении обычных гигантов и карликов. Когда эти качественные различия были выражены в строгой количественной форме, только тогда можно было определить абсолютную величину звезды по интенсивности ее спектральных линий. Кольшюттер и Адамс на обсерватории Маунт Вилсон в 1914—1918 гг. практически разработали этот метод, использовав все доступные данные о звездах классов F, G и K. Для каждого класса (или подкласса) данные о параллаксах и собственных движениях использовались для вычисления абсолютных величин, после чего составлялись эмпирические таблицы связи светимости с интенсивностью линий. Эти таблицы служили для определения светимостей всех других звезд. Из сравнения абсолютной величины с известной видимой величиной звезды сразу же находились ее расстояние и параллакс.

Так неожиданным образом удалось найти способ для определения параллаксов, которые были слишком малы для непосредственных измерений. Если звезда была достаточно ярка для того, чтобы можно было снять ее спектр, параллакс удавалось найти, как бы он ни был мал. Такие спектроскопические параллаксы имели ошибку, составлявшую в среднем $1/_5$ величины самих параллаксов. В 1914—1918 гг. на Маунт Вилсон получены парал-

лаксы около 1400 звезд классов F, G и K. Этому методу определения параллаксов вскоре последовали на многих других обсерваториях.

Между тем физика теперь сделала большой шаг вперед, который мог дать всем этим эмпирическим открытиям и методам теоретическую основу и полное объяснение. Сразу же после того как Бор в 1913 г. выдвинул свою теорию атома, он смог дать объяснение серии Пиккеринга у О-звезд. Появление этой серии вызывали не атомы водорода, а атомы ионизованного гелия. Когда атом гелия терял один из своих двух электронов, он становился похожим на атом водорода, с аналогичными линиями в спектре. Однако из-за того, что заряд ядра атома гелия был вдвое больше заряда ядра атома водорода, линии ионизованного гелия располагались вдвое ближе друг к другу. С этим было связано то обстоятельство, что О-звезды, несмотря на свой нередко более желтый цвет, имели температуру выше В-звезд с неионизованным гелием. Теперь оказалось также, что ионизованные атомы других элементов испускали и поглощали локьеровские «enhanced lines», т. е. наши искровые линии или характеристические c-линии мисс Мори. Правда, уже Локьер также предполагал, что элементы должны распадаться из-за высоких температур и сильных электрических разрядов. Однако при этом он ошибочно считал их более простыми протоэлементами. Они распадались на ионизованные атомы и свободные электроны.

Ионизация однократная (а также и многократная) теперь выдвинулась наравне с обычным поглощением и излучением как господствующий фактор в разнообразных излучениях звезд. Для астрофизики учение об ионизации стало особенно плодотворным с тех пор, как индийский физик Мегхнад Саха вывел в 1920 г. формулу ионизации. Она могла дать степень ионизации любого вида атомов как функцию температуры и давления. Интенсивность спектральной линии стала теперь количественно вычислимой величиной, определяемой физическим состоянием атмосферы. И обратно, физическое состояние выводилось теперь из интенсивностей линий в спектре. Так, формула ионизации стала исходным пунктом для количественного изучения звездных спектров. Саха сразу же смог в главных чертах объяснить последовательность спектральных классов от O и B через A, F и G к K и M, т. е. последовательное появление линий гелия, водорода и металлов, как результат некоторого различия температур. Раньше, называя звезды гелиевыми, водородными или металлическими, думали о различии их химического состава. Теперь выяснилось, что одно только различие температур могло создавать все эти различия в спектре, проявлявшиеся даже при совершенно одинаковом химическом составе звездных атмосфер. Формула Саха,

дававшая возрастание ионизации при уменьшавшемся давлении и плотности, объясняла вместе с тем высокую интенсивность искровых линий у имевших большой объем, а поэтому и в высшей степени разреженных звезд-гигантов.

Благодаря теоретической работе Г. Н. Рессела, который в 1922 г. применил ионизационную формулу к астрофизической практике, а также благодаря Милну в Оксфорде, разработавшему теорию звездных атмосфер, и, наконец, практической работе Цецилии Г. Пейн на Гарвардской обсерватории, применившей ее с 1924 г. к материалу гарвардских спектров, изучение звездных спектров получило твердое обоснование и современную форму.

Теперь оказалось, что у нормальных звезд спектр определял два параметра: эффективную температуру, измерявшую интенсивность исходящего из звезды потока энергии, и напряжение сил тяжести на поверхности звезды. Оно определяло градиент плотности в атмосфере, малый у звезд-гигантов и большой у карликов, создававший различия в интенсивностях искровых и дуговых линий, которые эмпирически рассматривались и представлялись загадочным эффектом абсолютной величины. Поскольку оказалось, что интенсивности линий в спектрах звезд зависят от силы тяжести, стала очевидной неправильность прежнего мнения о том, что массы звезд можно определить только у двойных звезд. Силу тяжести, а следовательно, и массу любой звезды стало возможным оценить по ее спектру при условии, что измерения достаточно точны, а теория удовлетворительно разработана.

Каковы были в действительности температуры звезд? Первые попытки измерения их температуры основывались на распределении интенсивности в спектре. У звезд более горячих, чем Солнце, излучение в коротких волнах — синих и фиолетовых — было относительно интенсивнее, и в длинных — желтых и красных — относительно более слабое, чем у Солнца. У более холодных звезд все было наоборот. Формула Планка позволяла подсчитать численное значение температуры по измеренным разностям интенсивностей. Вильзинг и Шейнер в Потсдаме провели (в 1905—1910 гг.) визуальные измерения интенсивности многих линий в спектре 109 звезд различных спектральных классов. Стандартом сравнения было раскаленное тело известной температуры. Розенберг в Тюбингене в 1914 г. опубликовал измерения фотографических спектров семидесяти звезд, сравнивавшихся с Солнцем. Результаты расходились довольно сильно: потсдамцы нашли для классов A0 и M0 9300° и 3100°, а Розенберг для них же — 28 000° и 2600°. Вскоре выяснилось, что излучение звезд несколько иное, чем излучение абсолютно черного тела, т. е. что формула Планка здесь не подходит. [Строго говоря, все это оставалось неопределенным до тех пор, пока не была выдвинута удовлетворительная

теория излучения звездных атмосфер.] Практически, однако, можно было все получить благодаря эмпирическому выравниванию и лучшему исключению источников ошибок. Для A0-звезд теперь в основном принималось 10 000°—11 000°, а для M0-звезд — около 3000°.

Гелиевые звезды класса B горячее, чем звезды A0. Поскольку они в основном удалены на большое расстояние и зачастую окрашены в несколько более желтый цвет из-за поглощения в пространстве, измерения интенсивности спектра не могли дать значения температуры. Здесь, однако, могли привести к желаемому результату спектральные линии. Благодаря появлению и исчезновению в спектрах A-, B- и O-звезд линий однажды, дважды и трижды ионизованного кремния, Цецилия Пейн в 1924 г. смогла установить шкалу температур для звезд от B5 до B0. Эти температуры изменялись в пределах от 15 000° до 20 000°. Затем перешли к первым O-звездам (O9 и O8) с температурой от 25 000° до 30 000°. У следующих классов возрастала интенсивность линий ионизованного гелия, так же как и линий с трудом ионизуемых атомов кислорода, азота и углерода (они возбуждали ранее упоминавшуюся яркую линию Вольфа — Райе 4650 Å), что указывало на еще более высокие температуры. Но насколько высокие? На это ответили исследования Занстра (1925 г.).

У звезд со столь высокими температурами — в 30 000° и выше — все излучение происходит в далеком ультрафиолете, в таких длинах волн, которые не оказывают действия на наш глаз и даже на фотопластинку, так как все длины волн, меньшие 3000 Å, целиком поглощаются озоном, расположенным в высоких слоях нашей атмосферы. По формуле Планка излучение такой звезды будет максимально на длинах волн около 1000 Å. Длины волн выше 3000 и 4000 Å, в которых мы видим или фотографируем такую звезду, составляют самый кончик спектра, очень малый процент общего ее излучения. Невидимые длины волн большой интенсивности меньше 911 Å состоят из квантов света, оказывающих сильное ионизующее воздействие на атомы водорода, находящиеся в окружающем пространстве. Рекомбинируясь в нормальные атомы, ионизованный водород излучает различные линии, отмечаемые нашим глазом или спектрографом (например, серию Бальмера). Мы видим окружающую их разреженную материю как светящуюся туманность, «планетарную» или «кольцевую», дающую в спектре яркие водородные линии. Так удалось объяснить спектры газовых туманностей. «Светящаяся жидкость» Гершеля оказалась предельно разреженным газом из водорода и других светящихся (в результате сложных процессов) атомов, входящих в состав атмосфер высокотемпературных звезд. Действительно, Райту на Ликской обсерватории

удалось в 1918 г. установить, что все центральные звезды в планетарных и кольцевых туманностях дают O-спектр. Интенсивная невидимая радиация, исходящая из центральной звезды, вызывает свечение окружающей туманности, которое в видимых лучах значительно сильнее света самой звезды. Из этого различия исходил Занстра. По мере повышения температуры этот контраст усиливается. В высшей степени слабая, почти невидимая в яркой туманности звездочка должна была иметь очень высокую температуру. Так ему удалось установить температуру центральных звезд различных туманностей от 34 000° до 40 000°, а в одном случае еще выше — до 70 000°.

Но это было еще не все. В 1926 г. калифорнийский физик Боуэн разрешил, наконец, загадку «небулия», этого фантастического элемента, привлеченного для объяснения появления неизвестных линий в спектре туманностей, которые не встречались в земных спектрах. Яркую зеленую линию небулия открыл Хеггинс. Оказалось, что линии небулия — это так называемые «запрещенные линии», излучаемые атомами однажды и дважды ионизованного кислорода и азота. В планетарных туманностях из-за разреженности и слабости излучения отсутствовали обычные атомные переходы, но могли осуществляться «запрещенные» переходы. Боуэн указал, что кванты света наименьших длин волн (наиболее многочисленные при самых высоких температурах) вносят в излучение звезды бо́льшую энергию, чем это необходимо для ионизации водорода. Избыток энергии идет на ионизацию атомов кислорода и азота.

Чем выше температура центральной звезды, тем сильнее должны быть небулярные линии по отношению к линиям водорода. Уже Райт классифицировал туманности по относительной интенсивности более или менее возбужденных линий спектра. Теперь оказалось, что в действительности это была естественная последовательность температур. Обе известные большие неправильные туманности в Орионе и в Корабле светились под действием небольшой группы O-звезд. В Орионе это была известная «трапеция» или четверная звезда θ^2 в «мече», имевшая «скромную» температуру не более 30 000°. Обе туманности давали мало возбужденные спектры со слабыми небулярными линиями. Наряду с этим было обнаружено несколько планетарных туманностей с температурой (невидимой центральной звезды) выше 100 000°.

Вернемся теперь к другому концу шкалы температур, к 3000° и красной M-звезде, такой, как Бетельгейзе. Типичные полосы в спектрах этих звезд были открыты уже Секки. А. Фаулер в 1907 г. нашел, что они создавались окисью титана, доминировавшей в более холодных подгруппах. Поскольку основная часть

излучения при этих низких температурах лежала в инфракрасном участке спектра, лишь крайняя ее коротковолновая часть оказывалась видимой как красный свет. Долгопериодические переменные звезды, такие как Мира Кита, имели одинаково низкую температуру (в минимуме еще более низкую, чем в максимуме), но это было трудно определить из-за сильного поглощения. Для темно-красной N-звезды принимали главным образом температуру в 2000°. По измерениям теплового излучения при помощи радиометра Петтит и Никольсон на Маунт Вилсон нашли в 1928 г. для Миры и некоторых однотипных звезд в максимуме значения температуры около 2400°—2000°. В минимуме они составляли от 1300° до 1400°. Звезды такой низкой температуры визуально почти совсем не были видны, хотя инфракрасное излучение и содержало еще большое количество энергии. Следовательно, здесь ощущался переход в область действительно «темных» звезд, с температурами около 1000° и ниже. Поскольку предполагалось, что и массы их также должны быть меньшими (меньше 0,1 солнечной массы), то можно было ожидать перехода к действительно темным звездам. Имеют ли они также и малые массы, мы пока не знаем.

Таким образом, границы температур поверхностей звезд расширились от 1000 до 100 000°, причем звезды, находящиеся вблизи обоих пределов, оказались почти или совсем невидимыми. Конечно, это обусловлено особенностями нашего органа зрения, который особенно приспособлен к излучению Солнца. Красные звезды, которые кажутся нам очень яркими, должны быть, очевидно, гигантскими небесными телами. Можно ли сказать, насколько гигантскими? До сих пор мы говорили о звездах, как о светящихся точках. Это означало, что их размеры слишком малы для того, чтобы можно было видеть их диски. Но насколько они малы? Это можно было легко подсчитать. Если звезда имела такой же цвет, как Капелла (т. е. ту же поверхностную температуру, что и Солнце), ее поверхность должна была казаться меньше в том же самом отношении, в каком был слабее ее свет. Из-за того, что яркость звезды была в 40 000 миллионов раз меньше, чем у Солнца, ее крошечный диск имел в 200 000 раз меньший диаметр, чем Солнце, т. е. примерно 0″, 01. Этот диск был действительно слишком мал для того, чтобы можно было его рассмотреть в наши телескопы. В соответствии с теоретической оптикой свет с длиной волны около $^1/_{2000}$ *мм* (5000 А), исходящий из одной точки, при прохождении через телескоп с отверстием в 1 метр дает маленький дифракционный диск диаметром в 0″, 1, т. е. в 10 раз больше действительного диска такой звезды, как Капелла. Только при отверстии телескопа в 10 метров этот дифракционный диск можно уменьшить до диаметра 0″, 01.

В 1890 г. у американского физика А. А. Майкельсона возникла мысль о том, что столь малый диск все же можно сделать заметным. Поймав свет звезды при помощи двух зеркал, находившихся на расстоянии 10 метров, и затем отбросив его в телескоп, можно было получить на дифракционном диске интерференционную картину из темных и светлых полос. Расстоянию в 10 метров соответствовало расстояние 0″,01 между полосами. Однако, если звезда имела диск некоторого размера, светлые и темные полосы сливались друг с другом и становились невидимыми. Эта идея не получила практического воплощения до 1919 г., когда на Маунт Вилсон был построен так называемый интерферометр. Тогда Андерсону и Пизу действительно удалось измерить диаметры нескольких ярких красных звезд. Они оказались: у Бетельгейзе 0″, 045, у Антареса 0″, 040, у Арктура 0″, 022, а у Миры, с ее слабой излучательной способностью, 0″, 056. Только красные звезды имели диски, достаточно большие для измерения. Хотя эти результаты не привели к новым открытиям, они продемонстрировали важную победу физической теории над ограниченностью техники.

Все сказанное относится к внешней поверхности звезды — единственному, что мы можем наблюдать. А что же внутри?

Говоря о Солнце, мы уже упоминали исследование Эддингтона внутреннего строения этой звезды. Однако (это свидетельствует о том, насколько расширилось поле зрения науки) Солнце являлось лишь одним из примеров, к которому было применено общее исследование о звездах. Книга, в которой Эддингтон собрал в 1925 г. все свои исследования, называлась «Внутреннее строение звезд».

Основу этой теории звезд составило учение о лучистом равновесии, т. е. представление о том, что при высоких температурах в миллионы градусов излучение является практически наиболее существенным механизмом переноса тепла внутри звезд. В рассмотрение условий механического и термического равновесия были введены три новые точки зрения. Во-первых, давление излучения (выведенное в свое время Максвеллом из его теории электричества, но почти незаметное во всех экспериментах на Земле), которое при этой мощности излучения компенсировало бо́льшую или меньшую часть силы тяжести, зависело от потока излучения изнутри наружу. Во-вторых, высокая степень ионизации. Все электронные оболочки из-за мощного излучения атомов были оторваны и электроны поочередно то пребывали в свободном состоянии, то рекомбинировали. В бесконечной игре попеременной рекомбинации и расщепления носившихся всюду ионов и электронов, то поглощавших, то излучавших энергию во всех направлениях, происходил ее перенос изнутри наружу. В-третьих, энергия,

непрерывно вырабатывавшаяся внутри, могла поддерживать поток энергии, т. е. излучение звезды в пространство. Эти три типа явлений определяли состояние материи и энергии внутри звезд: температуру, давление, плотность, коэффициент поглощения, ионизацию всех типов атомов как функции их расстояния от центра.

Важнейшим результатом исследований Эддингтона было установление закона «масса — светимость», т. е. того, что светимость звезды (за исключением некоторых небольших отклонений, зависящих от спектрального класса) целиком определялась ее массой по теоретически выведенному соотношению. Еще раньше различные астрономы при исследовании двойных звезд заметили, что почти независимо от спектрального класса большие светимости обычно совпадали с большими массами. То, что рассматривалось как случайный результат, полученный на основании ограниченного материала, было, как показал теперь Эддингтон, общим законом большой важности. Это снова придало совершенно новый вид теории эволюции звезд и значению диаграммы Герцшпрунга — Рессела. Поскольку у звезды с постоянной массой светимость также оставалась постоянной, она не могла эволюционировать вдоль главной последовательности по той линии, которая на диаграмме шла наклонно вниз от ярких A-звезд к слабым M-звездам. Она не могла быть линией эволюции из-за охлаждения. Так старая теория эволюции звезд утратила свою силу, ее следовало пересмотреть. Теперь было предложено другое объяснение: звезды перемещаются при своем развитии вдоль горизонтальной линии с постоянной светимостью, справа налево, разогреваясь при сжатии, а затем, сильно сконденсировавшись в конце этого отрезка, поворачивают вправо, из-за чего и возникает скопление, которое мы рассматриваем как главную последовательность. Чем меньше масса звезды, тем меньше также и ее светимость, следовательно, тем ниже располагается линия ее эволюции на диаграмме и тем меньшей максимальной температуры она достигает.

Эддингтон вывел закон «масса — светимость» в предположении, что звездная материя ведет себя, как идеальный газ, что можно было принять для весьма разреженных звезд-гигантов. Когда он в 1924 г. сравнил теорию с данными относительно большого числа звезд (чтобы посмотреть, насколько она ошибочна в применении к плотным звездам-карликам), то, к своему удивлению, установил, что они также удовлетворяли этой теории, т. е. карлики вели себя так, как если бы они состояли из разреженного газа. Вскоре он понял, в чем заключалась причина. Атомы в более глубоких слоях звезды теряли внешние электронные оболочки и из-за высокой степени ионизации имели столь малый объем, что, несмотря на плотность, бóльшую чем у самых тяжелых

металлов, они свободно перемещались в идеальном газе, не мешая друг другу. Не менее неожиданным было выведенное отсюда заключение о том, что обнаженные до такой степени атомы могут быть настолько плотно упакованы, чтобы создавать плотность материи, в 60 000 раз превышающую плотность воды, как это было вычислено для белых карликов. До сих пор это представлялось совершенно невозможным.

Эйнштейн на основании теории относительности сделал вывод, что свет, испускаемый в сильном гравитационном поле, должен изменять свою длину волны. Адамс, изучая спектр Сириуса B, действительно нашел, что длина волны линий изменилась на теоретически предсказанную величину. Пришлось признать, что материя, имеющая плотность в 60 000, действительно существует. Это поставило перед физиками новые задачи. Был основан новый раздел физической теории, занявшийся изучением так называемой «вырожденной материи».

Продолжая работу Эддингтона, Милн в 1928 г. занялся разработкой более общей модели строения звезд. При этом оказалось, что среди звезд были такие, которые теряли устойчивость и спадались, быстро сжимаясь до малого объема. Звездная катастрофа, при которой внезапно освобождалось необычайно большое количество потенциальной гравитационной энергии в виде вспышки света, одновременно дала соответствующее объяснение и вспышкам новых звезд и возникновению небольших плотных белых карликов, подобных O-звездам, которые встречались в планетарных туманностях. Так пришли к постановке следующего вопроса: не могли ли планетарные туманности быть остатками прежних вспышек новых звезд?

Астрофизика, т. е. наука о внешнем и внутреннем строении звезд, постепенно стала основным разделом астрономии, который концентрирует наибольшие усилия и вспомогательные средства. Ее развитие за последние годы наполнено такими актуальными проблемами современной науки, которые нельзя еще рассматривать как историю *).

---

*) В настоящее время взгляды на внутреннее строение звезд, источник энергии и эволюцию существенно изменились. В основу теоретических расчетов положены более точные знания, полученные в результате успехов ядерной физики. (*Прим. ред.*)

ГЛАВА 41

ГАЛАКТИКА

Составляют ли миллионы звезд, окружающие нас в пространстве и видимые при помощи телескопов, единую систему? Вильям Гершель считал ответ на такой вопрос само собой разумеющимся и сразу же связал эту систему с видимым явлением Млечного Пути. С тех пор Млечный Путь или, иначе говоря, его центральная плоскость стала рассматриваться как естественная основная плоскость звездной системы. Положения звезд по отношению к этой основной плоскости во всех дальнейших исследованиях характеризовались галактической долготой и широтой.

Гершель при первой разведке этого звездного пространства бегло очертил его внешние границы. Дальнейшие исследования пришлось вести в двух направлениях: с одной стороны, следовало выяснить пространственное распределение звезд, с другой — законы их движения.

Изучение пространственного распределения следовало начать с переписи звезд по их положению и величине, т. е. с их распределения по поверхности небесной сферы. В первое время это еще ничего не говорило о предполагавшейся цели астрономического исследования. Уже упоминавшееся составление карт телескопических звезд служило только для разыскания малых планет. Собранные в каталогах меридианные наблюдения таких звезд должны были также служить для сравнения при определении положения комет и малых планет. Впрочем, для удовлетворительной переписи звезд не было необходимости в большой точности меридианного круга, и поэтому такие каталоги были слишком неполны, а звездные величины слишком грубы. То, что каталоги все же годились для исследований, было показано В. Струве в 1847 г. при изучении пространственного распределения звезд, основанного на каталоге Бесселя. Он вывел при этом, насколько плотнее скапливаются слабые звезды вблизи плоскости Млечного Пути, чем на большом расстоянии по обе стороны от этой плоскости.

Впервые удовлетворительная перепись звезд была выполнена Аргеландером в Бонне. Его тщательное исследование величин звезд, видимых простым глазом, уже упоминалось. Теперь он

распространил эту задачу на телескопические звезды. Он понял, что прежний способ нанесения звезд на карту, когда поочередно приходилось смотреть то в телескоп на звезду, то на карту, был трудоемким, неточным и отнимал много времени. Аргеландер изобрел значительно лучший способ. Наблюдатель при помощи неподвижного телескопа просматривал звезды примерно одинакового склонения, проходящие друг за другом в поле зрения телескопа. Каждый раз, как звезда пересекала в поле зрения линию, направленную с севера на юг, он давал сигнал, момент которого отмечал помощник, сидевший перед часами (этот момент давал прямое восхождение). При считывании градуированной шкалы вдоль упомянутой линии (которая давала склонение) отмечалась и называлась также и оценка звездной величины. Итак, шаг или зона по склонению была узка, но по прямому восхождению широка. Ее можно было пронаблюдать за один прием. Для контроля и для обеспечения большей точности средних значений небо покрывалось такими зонами дважды. Благодаря хорошо обдуманному ограничению стремления к точности (до целых секунд времени в прямом восхождении и до десятых долей дуговой минуты в склонении) и благоразумному ограничению звездами до девятой величины (применялся относительно малый телескоп с отверстием 76 *мм*), эту работу по всему северному полушарию неба удалось закончить за 7 лет, с 1852 года по 1859 год. За этот период времени удалось поддерживать неослабный энтузиазм наблюдателей (ассистентами Аргеландера были Торманн, Крюгер и Шенфельд). На основании этого каталога, охватывавшего более 324 000 звезд до 9^m, 5 величины, был составлен «Атлас северного звездного неба», далеко превзошедший все прежние карты по полноте и надежности. Как атлас, так и каталог в течение многих лет были незаменимыми вспомогательными средствами при любой астрономической работе. Даже теперь, в XX в., «Bonner Durchmusterung» все еще остается незаменимым для статистических исследований *).

Аргеландер назвал каталог «Durchmusterung», т. е. «Обозрение», желая подчеркнуть грубость определения положений звезд. Только при этом условии и можно было достигнуть большой цели — полной и строгой переписи. Оно стало интернациональным названием для всех позднейших каталогов подобного рода. Эдуард Шенфельд, ученик и последователь Аргеландера в Бонне, первым продолжил этот каталог до 24° южного склонения для того, чтобы захватить всю эклиптику с ее малыми планетами. Затем в 1885 г. Томе, последователь Гулда в Кордове (Аргентина), начал расши-

*) Уже много десятилетий этот каталог не применяется для статистических исследований. (*Прим. ред.*)

рять эту работу на остальное южное небо, от 22° южного склонения. Однако он взял несколько больший телескоп, дававший звезды до десятой и одиннадцатой величины, следовательно, его программа стала больше. Из-за ирригационных работ в этой засушливой провинции Томе испытывал больше неудобств, чем из-за облаков и туманов. В результате всего этого, а также из-за уменьшения правительственной субсидии работа продвигалась значительно медленнее, и к моменту его смерти в 1908 г. (хотя и было каталогизировано 579 000 звезд) она дошла лишь до 62° южного склонения. Только в 1930 г. новым наблюдателям удалось завершить эту работу, доведя ее до южного полюса. Поэтому, а также из-за попытки совместить шкалу оценок множества звездных величин с фотометрическими измерениями «Cordoba Durchmusterung» («Кордовское обозрение») не удалось добиться однородности, которая является наиболее ценным свойством для статистических целей.

В первой боннской работе шкала звездных величин также не была повсюду одинаковой, так как боннские наблюдатели опирались при оценках на воображаемую мысленную шкалу. Первым большим фотометрическим предприятиям конца XIX в., проводившимся в Потсдаме и Кембридже, удалось получить точные величины звезд до $7^m,5$ вместо оценок в субъективной шкале. Они-то и использовались при последующей статистической работе. Фотометрические измерения сотен тысяч звезд из «Durchmusterung» были невыполнимы, по крайней мере визуально. Фотографически, с имевшимися в рассматриваемое время вспомогательными средствами, это можно было осуществить.

Однако для того, чтобы каталог «Durchmusterung» мог использоваться и для статистических исследований, Пиккеринг измерял фотометрический блеск всех ярких звезд до девятой и десятой величин внутри множества очень маленьких полосочек, расположенных на 0°, 5°, 10°, ...по склонению. Между тем Я. К. Каптейн (1851—1922) составил опись звезд южного неба другим способом, используя целый ряд фотопластинок южного неба, полученных Гиллом в Кэптауне в 1885—1890 гг. Благодаря остроумному использованию маленького теодолита, с помощью которого пластинку со звездами можно было рассматривать на расстоянии, равном фокусному расстоянию фотографического телескопа, удалось, как бы прямо глядя на кусочек настоящего неба, отсчитывать прямое восхождение и склонение непосредственно по кругам. Эти положения также были еще довольно грубы, с ошибкой в несколько дуговых секунд, но все же в целом точнее, чем у «Bonner Durchmusterung». Звездные величины выводились по эмпирическим формулам на основании измерения диаметров звезд. Так, после 10-летних измерений в маленькой лаборатории в Гронингене появился «Cape Photographic Durchmusterung» («Фотографическое обозрение на мысе Доброй Надежды») — каталог, содержавший 454 000 звезд до одиннадцатой величины между 19° южного склонения и южным полюсом, конечно, не с визуальными, а с фотографическими величинами.

Само собой разумеется, что распространение картографической работы на миллионы более слабых звезд можно было выполнить только фотографически. При этом не было необходимости в измерениях и каталогизировании, карты получали непосредственно. Так, Гарвардская обсерватория издала «атлас» звезд до двенадцатой величины в виде коробок со стеклянными пластинками, скопированными с оригинальных пластинок. Мы уже упоминали также большую работу «Carte du Ciel», которая, несмотря на кооперативные планы, подвигалась медленно. Предоставив в распоряжение астрономов великолепные оптические системы, дававшие резкие изображения звезд даже на краю поля, английский любитель астрономии Франклин Адамс удовлетворил насущные потребности астрономов. В 1902—1905 гг., сначала в Англии, а затем в Южной Африке, он снял телескопом с отверстием в 10″ все небо на двухстах шести пластинках, каждая из которых покрывала 15 квадратных градусов, содержащих звезды до пятнадцатой величины. Изображения самых слабых звезд можно было видеть только с помощью лупы (рис. 70). Естественно, что здесь подсчет всех звезд, не говоря уже о трудностях в шкале звездных величин, был почти невыполнимой работой.

Опись звезд в «Durchmusterung» послужила основой для статистического изучения распределения звезд; отсюда следовало выводить заключения о пространственном распределении. Впервые подробно этим занялся Г. Зеелигер в Мюнхене, который с 1884 по 1909 г. выполнил ряд исследований в этой области. С помощью фотометрических измерений Пиккеринга было найдено, что боннские оценки звездных величин нуждаются в исправлении. Они обнаруживали ход не только со склонением, что указывало на изменявшееся с годами восприятие наблюдателей, но также и со звездной плотностью. Чем больше звезд оказывалось в поле зрения, тем слабее казался их блеск и тем меньше слабых звезд находилось на границах участка. Итак, когда Зеелигер смог работать с точными фотометрическими величинами, сразу же был получен и надежный результат: у ряда звезд при переходе к следующей звездной величине их численность правильно возрастала от 2,8 до 3,4 раза. Любой следующий класс звездных величин содержал в 3 раза больше звезд, чем предыдущий. Что это означало? Если бы пространство было заполнено звездами равномерно, это отношение должно было равняться четырем, так как сфера радиусом в $\sqrt{2,5}$ раза больше предыдущей будет иметь

в 4 раза больший объем. Таким образом, Зеелигер смог отсюда сделать вывод, что с увеличением расстояния пространственная плотность звезд (число звезд в единице объема) уменьшается в определенном отношении. Итак, звездная система, изображенная упрощенно, схематически, становилась все более разреженной по мере удаления от Солнца.

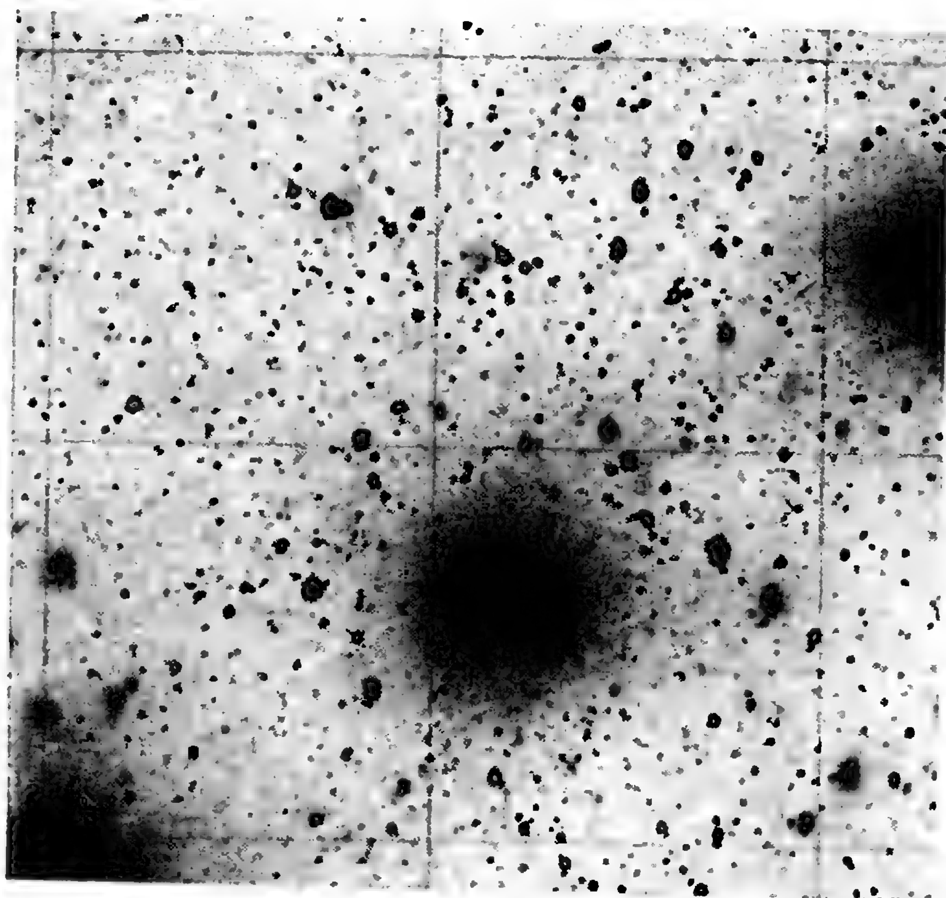


Рис. 70. Телескопические звезды в «поясе» Ориона на карте Франклина Адамса.

Однако плотность не была одинаковой во всех направлениях. Из распределения по небесной сфере весьма ясно обнаруживалось, что поверхностная плотность звезд возрастала с приближением к Млечному Пути. Правда, для самых ярких звезд, видимых простым глазом, это не было заметно или едва отмечалось. Для более слабых звезд эффект усиливался с ослаблением звезд. У гершелевских звезд это проявлялось сильнее, чем у звезд боннского каталога. Тот же самый факт можно было выразить иначе: возрастание численности звезд со звездной величиной мало́ в высоких галактических широтах, велико в низких галактических широтах и наиболее значительно в Млечном Пути. Это означает, что в Млечном Пути падение звездной плотности с

расстоянием мало́ и что оно быстро становится заметным в направлениях на галактические полюса.

Это — общие качественные результаты, не учитывающие различия в светимости звезд. Различие выражается законом светимости, который дает число звезд (в единице объема пространства) как функцию светимости.

Все это Зеелигер выразил в математической форме и вывел ряд формул, дававших зависимость числа подсчитанных звезд любой величины от изменения плотности с расстоянием и от функции светимости. Ему удалось показать, что если бы возрастание числа звезд показывало постоянный ход со звездной величиной, то вытекающее отсюда уменьшение пространственной плотности могло бы быть вычислено без знания функции светимости. К сожалению, однако, довольно очевидно, что для слабых звезд фактор возрастания уменьшался. Тогда Зеелигер объяснил это тем, что на большом расстоянии звездная система ограничена. Однако было совершенно ясно, что из одного только рассмотрения звездных подсчетов, без использования других данных о параллаксах и собственных движениях, невозможно получить полное представление о строении звездной системы. [Итак, теперь пришлось впервые более подробно рассмотреть движение звезд.]

Может ли открытие закономерностей в движениях звезд привести нас также, как в случае планет, к представлению о пространственной структуре и действующих силах? Еще Вильям Гершель показал, что звезды в среднем кажутся движущимися к определенной точке неба из-за того, что наша солнечная система перемещается в пространстве к противолежащей точке, т. е. в противоположном направлении. В начале XIX в. еще шла борьба по этому вопросу. Бесселю не удалось найти указания на такое движение у исследованных им звезд. Это произошло, как выяснилось позднее, не только из-за неполноты материала, но также и из-за примененного им косвенного метода исследования. Однако Аргеландер, еще находясь в Або (Финляндия), на большом числе (390) заново определенных им значительных собственных движений в 1830 г. с несомненной достоверностью доказал, что солнечная система действительно движется в указанном Гершелем направлении (к точке, расположенной на границе созвездий Геркулеса и Лиры).

В XIX в., по мере возрастания количества хороших определений положений при помощи меридианного круга, стало появляться все большее число каталогов собственных движений. Наиболее важным из них была изданная в 1888 г. новая обработка А. Ауверсом брадлеевых звезд. В течение многих лет каталог Ауверса — Брадлея оставался основой всех исследований о

движении звезд, до тех пор, пока в 1910 г. его не вытеснил «Preliminary General Catologue» («Предварительный генеральный каталог») Л. Босса, содержавший 6188 звезд. Теперь все вычисления проводились на основе этих и различных других каталогов собственных движений, подтверждавших результаты Гершеля и Аргеландера. Определения положения так называемого апекса (точки, к которой движется Солнце) в среднем давали точку на небе с прямым восхождением 270° и склонением +30°, кроме одного исключения. Когда Кобольд обработал весь этот материал по методу Бесселя, он нашел апекс, расположенный значительно ближе к экватору. Что могло дать столь отклонявшийся результат, первое время оставалось непонятным.

Оказалось, что по измерениям лучевых скоростей большого числа звезд также можно обнаружить движение солнечной системы. Кроме направления на апекс, они могли также дать линейную скорость. В 1901 г. Кемпбеллу по 230 звездам, а в 1911 г. по значительно большему материалу — лучевым скоростям 1180 звезд, определенным на Ликской обсерватории, удалось вывести не только положение апекса (он нашел точку с прямым восхождением 268° и склонением +25°), но также и скорость Солнца в линейной мере. Она оказалась равной 19—20 *км/сек*, т. е. того же порядка, что и орбитальная скорость Земли вокруг Солнца (27 *км/сек*) *).

Так было доказано, что в звездных движениях действительно существует определенная регулярность, дрейф в определенном направлении — к антиапексу (с прямым восхождением 90°, склонением — 30°). Однако этот дрейф — лишь кажущийся, являющийся отражением движения нашего Солнца относительно совокупности всех звезд. Предпринимавшиеся в XIX в. попытки определения регулярности действительных движений в звездной системе оставались безрезультатными[1]. Так, например, Мэдлер в 1848 г. полагал, что ему удалось вывести общее движение около центра тяжести, находящегося в Плеядах. Но он ошибся. Освобожденные от «параллактического движения», связанного с движением Солнца, остаточные «пекулярные движения» обнаружили только неправильное случайное распределение. И все же удалось извлечь пользу и из этой работы. Так как Солнце за 100 лет перемещается на расстояние, в 420 раз большее расстояния от Солнца до Земли, то параллактическое смещение звезды за 100 лет будет в 420 раз больше ее параллакса. Таким способом можно было найти расстояние до удаленных звезд, но не для отдельных звезд, имеющих свои пекулярные движения, а среднее для групп звезд.

*) Орбитальная скорость Земли составляет в среднем 30 *км/сек*. (*Прим. ред.*).

Каптейн применил этот метод в большом масштабе, когда он в 90-е годы XIX в. начал свои исследования звездной системы. Найденные таким способом средние расстояния звезд третьей, четвертой и пятой величин возрастали менее быстро, чем по закону уменьшения блеска с расстоянием, в котором коэффициент пропорциональности равен $\sqrt{2,5}$. Это указывало на то, что каждая следующая группа звезд в среднем имела действительно меньшую светимость. Теперь трудная проблема распределения звезд предстала здесь вполне весомо. Распределение звезд по их видимому блеску представляет собой сложный эффект их различной светимости и расстояния, законы изменения которых заранее нам не известны. Нельзя математически вывести каждый из этих законов по общему их действию.

Способ, которым решил эту задачу Каптейн, представляет собой чудесный образец практического метода работы. Для групп звезд, звездная величина и собственное движение которых были заключены в определенных пределах, он вывел в 1901 г. средние параллаксы по всем надежным данным. Каптейн предложил эмпирическую формулу для вычисления этого параллакса (а следовательно, расстояния и светимости) по звездной величине и собственному движению. Эта формула была применена ко всем брадлеевым звездам, а также к материалу, полученному по более слабым звездам. Каптейну удалось расположить все эти звезды в сферических оболочках, находившихся на различном расстоянии, и внутри каждой сферической оболочки разделить их на разные светимости. Так, в 1902 г. он составил таблицу, в которой для любой светимости давалось число звезд в единице пространства на разных расстояниях. Следовательно, это был закон светимости в форме таблицы. Он показал, что число звезд с уменьшением светимости быстро возрастает, но это возрастание замедляется и функция перестает расти (достигает максимума) у звезд со светимостью в 100 раз меньшей, чем у Солнца. Найденные значения можно было вполне точно представить квадратичной экспоненциальной функцией, как в теории ошибок Гаусса. Здесь мы встречаемся с новым отделом астрономии, которую можно было бы назвать «статистической астрономией». Она появляется там, где мы имеем дело не с отдельными звездами, а с сотнями, тысячами или миллионами звезд. Тогда суть дела не зависит от самих объектов. Мы не спрашиваем, к а к и е звезды, а лишь с к о л ь к о звезд имеют некоторые характеристики (цвет, спектр, кратность) или какие-то значения параметров (температуры, плотности, светимости, звездной величины). Вычисление заменяет измерение. Положения (на небе или в пространстве) не имеют значения, важны только плотности распределения (по небу или в пространстве). Статистические законы распределения — это предмет и рабочий

инструмент астронома, имеющего дело с тысячами и миллионами представителей небесной толпы.

Зная закон светимости, значительно легче вывести пространственное распределение звезд. К тому же только в 1908 г. на обширном материале фотометрических измерений и звездных подсчетов стали выводить число звезд ярче определенной предельной величины, приходящихся на один квадратный градус, как функцию этой предельной звездной величины и галактической широты. При этом выходили за пределы каталогов «Durchmusterung». Теперь шкала фотометрических величин расширялась до пятнадцатой и шестнадцатой величин благодаря многочисленным фотометрическим измерениям слабых звезд сравнения, выполненным на Гарвардской обсерватории и Паркхерстом на Йеркской обсерватории для переменных звезд, т. е. совершенно для другой цели. Эти подсчеты ясно показывали, что фактор возрастания числа звезд на квадратный градус для звезд более слабых величин значительно уменьшается. Это можно было также прекрасно изобразить при помощи гауссовой кривой, конечно, различной для разных галактических широт. Шварцшильд при помощи остроумного анализа показал, что функцию плотности (пространственной плотности, зависящей от расстояния) можно вывести непосредственно из функции численности звезд (зависимости числа звезд от звездной величины) и функции светимости, если все три удастся представить точно гауссовыми функциями вероятности. То, что Каптейн нашел таким образом, была плотность, которая в ближайших окрестностях Солнца до расстояния около 100 парсек оставалась примерно постоянной, но на большем расстоянии непрерывно уменьшалась, медленно в плоскости Млечного Пути и быстро к полюсам Галактики. Поверхности равной пространственной плотности представляли собой поверхности сильно сплюснутого эллипсоида вращения, так что можно было говорить об эллипсоидальном распределении скоростей в звездной системе. В следующее десятилетие в астрономической лаборатории в Гронингене все эти вычисления были повторены на лучшем и более полном, главным образом фотографическом материале. Были получены более точные численные результаты. Оказалось, например, что плотность в плоскости Млечного Пути на расстоянии в 3500 парсек, а в перпендикулярном направлении на расстоянии 660 парсек составляет лишь $^1/_{16}$ плотности около Солнца.

Таким образом, система Каптейна давала сильно схематизированную и сглаженную картину звездной вселенной. Схематичным было также и изменение плотности с расстоянием. Из-за значительных различий в светимости звезд, что было видно из большого разброса на кривой светимости, все небольшие изменения пространственной плотности с расстоянием были сглажены и

едва заметны в распределении звезд по видимым звездным величинам.

Здесь говорилось о Млечном Пути лишь как о светящейся полосе на небе и, иногда, как о плоскости или слое звезд в пространстве. Теперь следует рассмотреть его как самостоятельный объект исследования. Что представляет собой Млечный Путь? Собственно говоря, столь причудливый фантом, каким он вырисовывается в ясную летнюю ночь на темном небе, представляет собой наиболее прекрасную и удивительную картину из тех, которые природа предлагает человеческому глазу. Правда, собственный его свет столь слаб, что исчезает при любой попытке точно его фиксировать. Он видим лишь с помощью ночного аппарата глаза — палочек сетчатки, а так как они отсутствуют в желтом пятне, то это сияние можно видеть четко лишь при помощи бокового зрения. Однако в темные южные ночи его слабое мерцание представляет великолепное зрелище.

Мы уже упоминали, что Птолемей в своем обширном труде дал описание Млечного Пути с его неправильным изменением ярких и слабых участков. Примечательно, что на протяжении всех следующих веков до XIX в. никому не приходило в голову представлять себе это световое явление таким, каким оно кажется невооруженному глазу. Возможно, причина заключалась в том, что все не меняющее блеск не привлекало внимания. Только когда Джон Гершель в 1834—1838 гг. проводил свои наблюдения на мысе Доброй Надежды, он был настолько поражен необычным видом южной части Млечного Пути, невидимой в Европе, что даже сделал довольно грубую его зарисовку. После того как Аргеландер в своем воззвании к друзьям астрономии также указал на Млечный Путь как на объект наблюдения любителей, этим занялись Юлиус Шмидт в Афинах и Эдуард Хейс из Мюнстера. Последний включил в свой атлас северного неба (в 1872 г.) также и изображение Млечного Пути. То же самое сделали Гулд и его помощники Томе и Дэвис для южной части Млечного Пути в своем атласе «Uranometria Argentina». В обоих случаях Млечный Путь из-за отсутствия хорошо разработанных деталей казался лишь побочным продуктом по сравнению со звездами, которые были главной задачей и целью атласов. Однако после этого в XIX в. появились через короткий промежуток времени один за другим еще два более или менее детализированных изображения Млечного Пути как самостоятельного объекта. Одно было выполнено в 1892 г. О. Бедиккером, ассистентом лорда Росса из Парсонстауна (Ирландия), другое — в 1893 г. К. Истоном, любителем из Дордрехта (Голландия). Эти и более поздние изображения, хотя и отличались по манере восприятия и изображения деталей, показывали, какое сложное строение имеет Млечный Путь. То, что с первого беглого

взгляда представлялось охватывавшим небо светящимся *поясом*, при внимательном изучении оказывалось последовательностью пятен и облаков неравномерной яркости, связанных потоками света разнообразной интенсивности (рис. 71), разделенных и смешанных

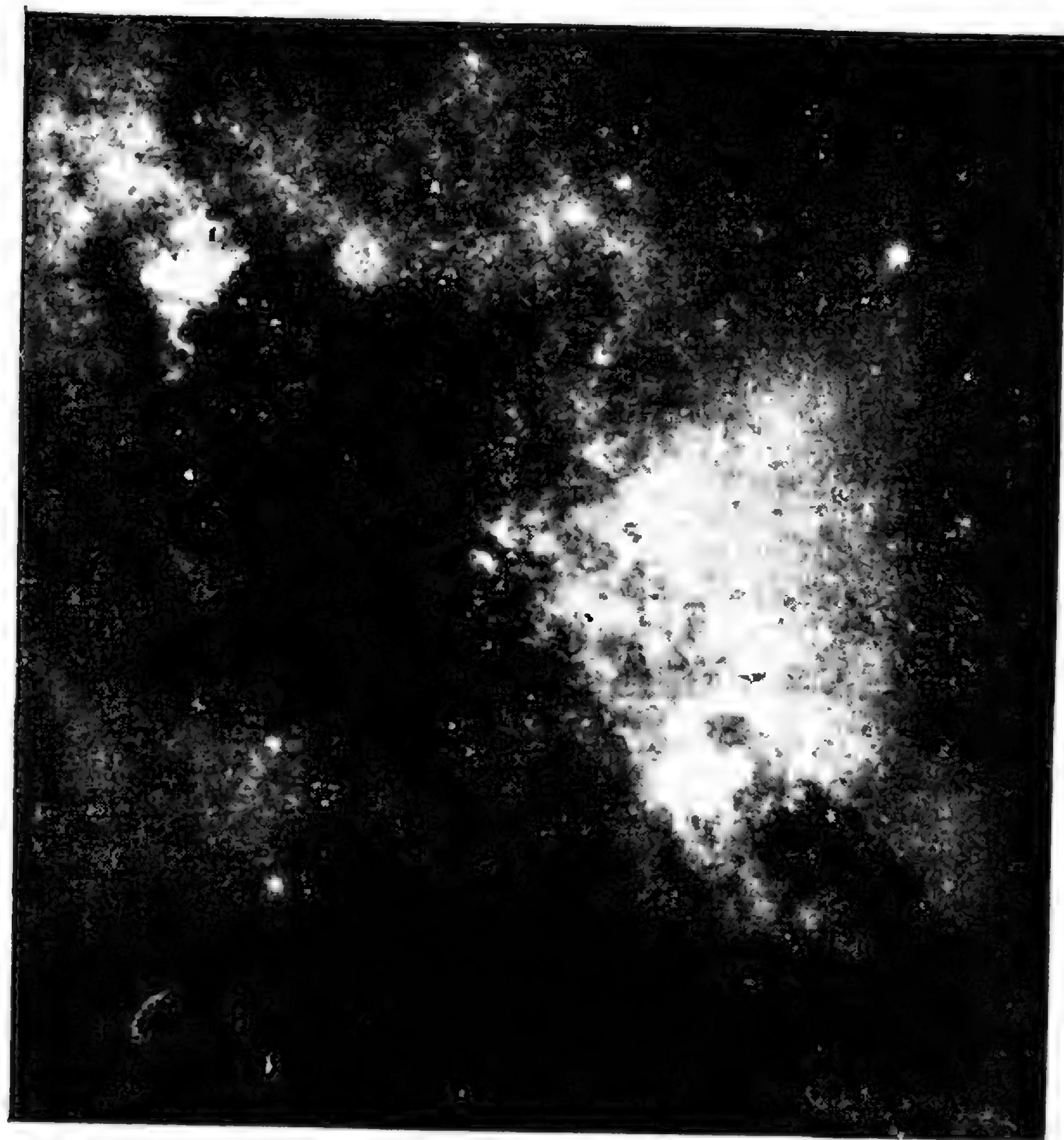


Рис. 71. Млечный Путь в Лебеде.

с множеством темных трещин и разрывов. Несмотря на это, имелась некоторая регулярность в общем виде Млечного Пути. Она состояла в том, что на одной стороне небесной сферы Млечный Путь был значительно ярче, чем на противоположной стороне. Самые яркие светлые пятна обнаруживались в Стрельце, на галактической долготе примерно в 330° (считая от точки пересечения с небесным экватором в Орле). Млечный Путь ослабевал по

обе стороны, хотя это ослабление и прерывалось еще очень яркими пятнами в Лебеде (на долготе 40°) и Корабле (260°), тогда как в Персее (120°) было видно лишь слабое сияние.

После этих трудностей визуальных наблюдений применение фотографии было настоящим откровением. В 1869 г. Рессел в Сиднее опубликовал ряд фотографий Млечного Пути, снятых при помощи большой линзовой камеры с отверстием в 15 *см*. Их превзошли снимки Макса Вольфа в Гейдельберге и Э. Э. Барнарда в Ликской обсерватории, начавших заниматься этим в 1889 г. Использовав систему линз с большим относительным отверстием (примерно 1 : 5) для получения большой поверхностной яркости, они обнаружили при экспозиции в 3 часа в Млечном Пути яркие облачные образования большой интенсивности с многочисленными деталями, которые из-за слабого свечения не удавалось открыть при помощи одних только оптических наблюдательных средств. В 1891 г. Макс Вольф опубликовал прекрасные изображения так называемой туманности «Америка» к юго-востоку от Денеба в Лебеде. Барнард при помощи все лучших и лучших фотообъективов (с 1904 г. на приобретенном мисс Катерина Брюс 10-дюймовом телескопе 1 : 5) получил множество прекрасных фотографий всех видимых в Северной Америке частей Млечного Пути, большое число которых воспроизведено в вышедших после его смерти фотографических атласах. Еще более великолепным был атлас Франка Росса, который как знаток и конструктор оптических систем изобрел для этого камеру, с помощью которой можно было снимать на одной пластинке области диаметром больше 20°. При этом звезды даже на краю получались как в высшей степени резко очерченные точки. К сожалению, полнота этого атласа не достигнута из-за отсутствия самой южной части Млечного Пути.

Все это фотографии Галактики показали, во-первых, что, собственно, явление Млечного Пути, т. е. ярких светлых облаков, состоит из сотен тысяч очень слабых звезд, начиная с тринадцатой, четырнадцатой или пятнадцатой величин. Следовательно, они располагались очень далеко, на расстоянии от 1000 до 10 000 парсек, где звездная система Каптейна постепенно исчезала во все более и более разреженных внешних областях. Вычисленные для его схематической вселенной плотности оказались малыми. Это свидетельствовало об обманчивости средних значений, так как в действительности в этой части пространства находилась гигантски-плотная звездная конденсация, сравнимая по своей плотности с центром каптейновой системы или даже еще более плотная. Центральную часть каптейновой системы размерами 500 парсек и больше отныне стали называть «местной системой», от которой то, что мы наблюдаем как Млечный Путь, находилось на большом расстоянии. Следовательно, не совсем ошибочным было значитель-

но более ранее (1869 г.) представление Проктора о Млечном Пути как об извилистом кольце, окружающем окрестности Солнца на большом расстоянии от него. Истон в ряде исследований (1894—1900) «превратил» это «кольцо» в спиральную структуру с ярким облаком в Лебеде (между β и γ Лебедя), как ядром, из которого исходили спиральные ветви, в одной из которых находилось наше Солнце. Однако все это были гипотезы о том, каким мог бы быть Млечный Путь. Вопрос о том, каков он в действительности, можно было решить лишь на основе обширных подсчетов звезд.

Вторым бросавшимся в глаза на фотографиях Млечного Пути и даже наиболее живописным явлением были темные пятна самой причудливой формы почти без звезд и очень разных размеров. Они имели вид полосок, каналов, «lanes» («дорожек»,— англ.). Барнард с самого начала обратил большое внимание на приведенные в каталоге 1919 г. 182 темных объекта (число которых впоследствии возросло до 352). Они действительно не могли быть ничем иным, как темными объектами — темными облаками или структурами поглощающей материи, которая ослабляла или гасила свет расположенных позади них звезд. Самый большой из этих объектов был известен уже с глубокой древности по визуальным наблюдениям Млечного Пути. Это — знаменитый «угольный мешок» у Южного Креста, затем несколько черных пятен на фоне ярких облаков в Лебеде и черный как смоль, почти лишенный звезд участок к югу от θ Змееносца. Раньше их считали некоторого рода пустотами или разрывами в звездных скоплениях, более разреженными областями вселенной, разделявшими друг от друга отдельные звездные облака, подобно темному участку между двумя ветвями, на которые Млечный Путь делится почти до половины своей протяженности. Однако небольшие черные пятна на фотографиях не поддавались такому объяснению.

Такие пятна обнаруживались и за пределами и на окраинах Млечного Пути как пустоты на звездных картах, где число звезд было значительно меньше, чем в окрестностях. В Шенфельдовом атласе южного «Bonner Durchmusterung» [между —1° и —24° склонения] в созвездии Змееносца заметно отсутствие звезд. На картах Франклина Адамса видно несколько таких неправильных, связанных друг с другом пустот в созвездии Тельца. Дайсон и Мелотт опубликовали в 1917 г. свой рисунок и пришли к заключению, что темные туманности, вызывающие поглощение света в этих участках, удалены от нее не более чем на 100—200 парсек. Более поздние исследования другими астрономами разных темных областей подтвердили этот вывод. Большая туманность Змееносца, в которой отсутствовали все звезды, видимые простым глазом, оказалась расположенной еще ближе, не более чем в 100 парсек. В то же время небольшие темные пятна между облаками Млечного Пути

оказались на расстояниях от 400 до 500 парсек. Эти темные туманности, похожие на облака и клубы дыма или пыли, окружали нас на близком расстоянии и затмевали свет более далеких звезд.

С Млечным Путем были связаны также различного рода туманности и звездные скопления. Мы оставим в стороне известные газовые туманности, о которых уже говорилось раньше, а также Магеллановы облака, находящиеся вблизи Южного полюса, которые выглядели как маленькие отдельные кусочки Млечного Пути. Остальные относились к другим, разделенным на три типа объектам, состоявшим из звезд, что ясно показывал их непрерывный спектр. Из 5000 туманностей, собранных в 1864 г. Джоном Гершелем в «General Catalogue», из 13 000 (до этого значения Дрейер довел количество туманностей в своем «New General Catalogue» — «Новом генеральном каталоге» NGC, 1888 г.), подавляющее большинство принадлежало к не разрешавшимся на звезды туманностям. С самыми сильными телескопами здесь не удавалось обнаружить отдельные звезды. Однако чаще всего у них проявлялась спиральная структура, благодаря чему и весь этот тип иногда называли «спиральными туманностями». Они имели ту особенность, что скапливались вокруг полюсов Млечного Пути, т. е. находились в некотором антагонизме со звездами. Второй тип распадался на сотню небольших так называемых «шаровых» звездных скоплений, на внешнем крае которых в хорошие телескопы обнаруживались многочисленные звезды. Однако в центре скопления звезды составляли неразрешимую яркую массу. Все шаровые скопления располагались в одной стороне неба, в полукруге с центром в созвездии Стрельца. Третий тип составляли сотни так называемых «открытых (рассеянных.— *И. Н.*) звездных скоплений», лежащих главным образом в Млечном Пути или вблизи него. Это мало плотные, иногда неправильные скопления звезд, начиная от больших групп, наподобие Плеяд и Яслей в Раке, кончая самыми маленькими скоплениями слабых звезд. Открытые скопления, очевидно, были самыми близкими, а спиральные туманности наиболее удаленными.

Когда в 1930 г. Трюмплер на Ликской обсерватории исследовал открытые звездные скопления и спектры отдельных звезд в них для определения расстояний, оказалось, что подмеченное соотношение между блеском и размером скоплений можно было объяснить, только предположив наличие общего поглощения света в пространстве. Такое поглощение значительно ослабляло объекты, но не уменьшало их размеров. Этот результат подтвердили ван де Камп в обсерватории Спрул и другие, особенно благодаря покраснению, обнаруженному у отдаленных звезд (они казались более красными, чем следовало бы по их спектру). Известно, что рассеяние света пылевыми частичками или молекулами газа

усиливается с уменьшением длины волны (отсюда и голубой цвет неба). Следовательно, кроме поглощения, должно происходить и покраснение. Это общее поглощение в области Млечного Пути объяснило вместе с тем и то, почему туманности, находившиеся далеко за пределами Млечного Пути, казались скопившимися вокруг его полюсов. По снимкам, полученным Шепли на Гарвардской обсерватории и Хabблом на Маунт Вилсон, выяснилось, что за пределами Млечного Пути между десятками тысяч звезд рассеяны небольшие туманности. Они совершенно отсутствовали в зоне Млечного Пути, «гасли» из-за поглощающей материи, рассеянной несколько неравномерно в среднем слое Галактики. Было принято предположение, что эта материя состоит из самых плотных частей упоминавшихся выше темных туманностей, причем туманности в Змееносце и Тельце располагались к нам ближе всего. Это ранее неизвестное и причудливо изменявшееся поглощение делало определение пространственной плотности на основании звездных подсчетов значительно более сложной и неопределенной задачей.

Так, теперь стало ясно, что Галактика, помимо миллионов звезд, состоит также и из темной туманной материи, заполняющей в разных местах межзвездное пространство. Изучение этой поглощающей материи, составляющих ее твердых частичек различной величины, состоящих из разных веществ, теперь стало новой и важной областью астрофизического исследования. Однако не только пыль заполняет межзвездное пространство. В 1904 г. Гартманн открыл, что в спектре δ Ориона, имевшей сильно изменявшуюся лучевую скорость, линия K ионизованного кальция оставалась неподвижной. Следовательно, она принадлежала не атмосфере звезды, а возникала из-за поглощения в пространстве. После этого то же самое было найдено и у многих других звезд. Таким образом, атомы ионизованного кальция (Ca^+) свободно странствовали в межзвездном мировом пространстве, составляя в высшей степени разреженный газ.

Позднее, с 1919 г. стали известны также и другие атомы подобного рода, например, натрия, ионизованного титана и т. п. Эти разреженные газы не обнаруживали нерегулярностей в распределении, которое мы наблюдаем у поглощающих частичек туманностей. Однако они не обнаруживали очень больших различий и в лучевых скоростях. Следовательно, они представляли собой потоки в мировом пространстве.

Вернемся теперь к движениям звезд. В начале своего исследования построения звездной системы Каптейн использовал только данные о собственных движениях и не использовал материал звездных величин, потому что скорости изменялись меньше, чем светимости. Таким образом, сначала он пытался вывести не закон светимости, а только закон скоростей. Однако собственные движения не соответствовали выведенным им формулам. Таким образом, ему пришлось идти другим путем. В течение нескольких лет он бился над странной неправильностью собственных движений, прежде чем нашел решение — теорию двух звездных потоков. О ней он сообщил сначала на встрече астрономов в Сан Луи (Миссури) 1904 г., а затем в 1905 г. в Кэптауне, на заседании Британской Ассоциации.

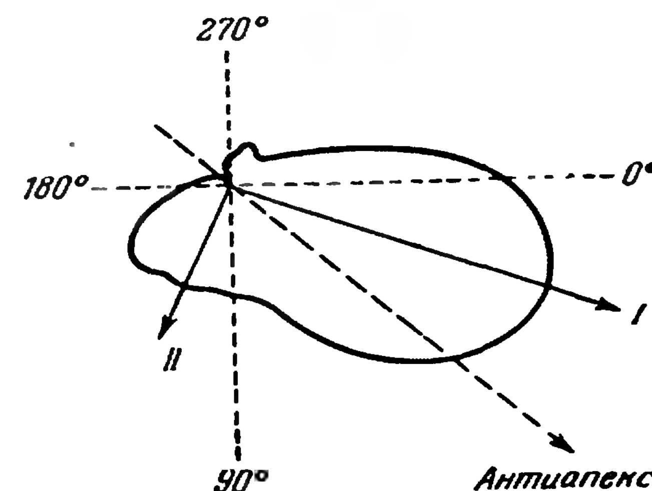


Рис. 72.

Если скорости всех звезд представить стрелками, исходящими из одной точки, то концы этих стрелок образуют диаграмму скоростей. Вследствие движения Солнца в пространстве эти скорости должны указать на преимущественное направление их собственных движений к антиапексу. Каптейн нашел, что в каждой области собственные движения обнаруживают два преимущественных направления, указывающих на две разные цели, которые он назвал видимыми «вертексами» («вершинами», — лат.). Можно было думать, что они возникли в результате сложения движения Солнца в направлении к апексу и движений двух групп звезд относительно их общего центра тяжести. Последние движения должны были происходить в противоположных направлениях, к истинным вертексам, противоположным друг другу и имеющим координаты 91°, +130° и 271°, —13°. Они оказались близкими к направлениям, найденным однажды Кобольдом по методу Бесселя. Результат Каптейна был подтвержден более обстоятельными исследованиями Эддингтона (1907 г.), чья диаграмма распределения скоростей благодаря своей любопытной форме получила название «кролика Эддингтона» (рис. 72). В то же время Шварцшильд показал, что это явление можно интерпретировать также и другим способом: эллипсоидальным распределением скоростей; большие оси эллипсоида скоростей направлены к вертексам. Конечно, в результате дальнейших исследований многих астрономов явление оказалось еще более сложным из-за того, что различные группы звезд показывали свои особенности движения. Однако суть дела была твердо установлена. Так теперь в движениях звезд была открыта регулярность, и вопрос заключался в том, как ее объяснить. Каптейн считал, что Галактика — смесь двух потоков, циркулирующих в противоположных направлениях. Так можно было объяснить сплюснутость системы, не прибегая к ее враще-

нию в целом. Однако настоящее объяснение было найдено позднее совершенно другим путем.

Не все вычисления движения солнечной системы давали одно и то же положение апекса с прямым восхождением примерно 270° и склонением +30°. Если определенные звездные группы давали что-либо иное, это, естественно, означало, что они имели еще дополнительное движение относительно всех других звезд. Так, в 1896 г. Штумпе, деля звезды на группы по их блеску и собственному движению, нашел, что чем меньше были блеск и собственное движение (а следовательно, чем дальше звезды были удалены), тем больше апекс смещался к северо-востоку, к большей галактической долготе, достигая примерно 60°. Это стало яснее, когда начали исследовать лучевые скорости очень далеко расположенных объектов. В 1923—1924 гг. Г. Стремберг на Маунт Вилсон вывел значения для направления движения и скорости разных типов звезд или звездных групп относительно Солнца. Оказалось, что шаровые скопления, а также спиральные туманности (для которых Слайфер на Ловелловской обсерватории измерил ряд лучевых скоростей) перемещались со значительно большей средней скоростью, примерно 300 *км/сек*. Они двигались в направлении точки с галактической долготой 250°, расположенной к югу от яркой галактической туманности в Киле. Или, другими словами, Солнце вместе с множеством всех звезд, окружавших его на расстоянии в несколько сотен парсек, двигалось относительно далекого внешнего мира со скоростью в 300 *км/сек* в противоположном направлении, т. е. к 70° галактической долготы. В этом движении Солнце участвует вместе со всеми окружающими звездами. Относительно них скорость Солнца равна 20 *км/сек*. При этом оказалось, что некоторые из звезд, пространственные скорости которых были уже известны, обнаруживали исключительно большую скорость, больше 60 и даже 100 или 200 *км/сек*. Они двигались в одну сторону неба с центром около долготы 234° и ни одна из звезд не двигалась в противоположную сторону. Если принять систему далеких скоплений или галактик за неподвижный нуль-пункт, то звезды, которые казались «скороходами», в действительности были «лентяями» по сравнению с быстро движущимися звездами, окружающими Солнце.

Другое необычное явление представляли собой звезды спектрального класса B, почти все располагавшиеся в Млечном Пути. Когда их лучевые скорости были освобождены от эффекта движения Солнца, то двух потоков больше не обнаруживалось. Было открыто другое явление, названное *K*-эффектом — некоторое увеличение всех длин волн в спектре. Позднее было показано, что это «эйнштейновское красное смещение» — результат сильного гравитационного поля на поверхности этих звезд большой массы. Кроме

того, этот эффект изменялся с галактической долготой. В 1922 г. Фрейндлих и фон дер Пален в Эйнштейновском институте в Потсдаме показали, что лучевая скорость этих звезд описывает двойную волну с галактической долготой, с максимумом удаления для звезд примерно на 0° и 180° долготы и минимумом (т. е., собственно, при приближении) для звезд на долготе 90° и 270°. Та же самая

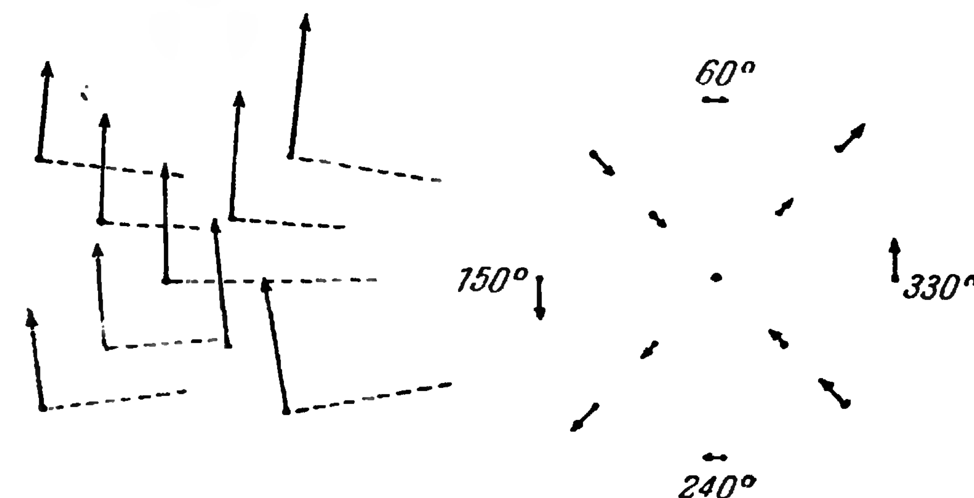


Рис. 73.

волна была обнаружена и у звезд других спектральных классов с весьма малым собственным движением, удаленных, так же как и B-звезды, на большое расстояние в несколько сотен парсек. Продолжая теоретическое рассмотрение вращающейся звездной системы, начатое Линдбладом, Я. Г. Оорт в Лейдене в 1927 г. показал, что при вращении всей Галактики вокруг центра, расположенного в направлении ярких облаков Млечного Пути в созвездии Стрельца, лучевые скорости звезд дважды меняют свои знаки. Солнце и звезды движутся вокруг этого притягивающего центра, как планеты вокруг Солнца, т. е. тем с большей скоростью, чем они ближе к центру. Как показывает рис. 73, звезды, которые находятся слева впереди и справа позади нас, приближаются к нам и тем быстрее, чем больше их расстояние от Солнца. Теперь представим себе скорость в 300 *км/сек*, направленную к 70° галактической долготы и приблизительно перпендикулярную к направлению на звездные облака в Стрельце (330°), как орбитальную скорость Солнца и окружающих его звезд. Тогда получится, что звезды с долготой около 0° и 180° будут удаляться, а звезды с долготой примерно в 90° и 270° приближаться. При этом то и другое становится хорошо заметным лишь на расстоянии в несколько сотен парсек.

Итак, выяснилось, что Галактика является вращающейся системой. Позднее Оорт детально разработал эту теорию и показал,

что если все звезды имеют еще различные орбиты и скорости, их движения относительно Солнца должны обнаруживать преимущественное направление примерно к центру, т. е. (с отклонением в 20°) они следуют выведенному Шварцшильдом направлению, полученному на основании каптейновой теории двух потоков. Центр, около которого происходит движение звезд, по Оорту, расположен на расстоянии более 6000 парсек. Скопцентрированная вокруг него масса равна 60 000 миллионов солнечных масс, причем масса того же порядка распределена по всей системе. На одно обращение вокруг центра Галактики Солнцу требуется 140 миллионов лет[2]. Линдблад определил расстояние Солнца от центра Галактики в 9400 парсек и продолжительность обращения в 200 миллионов лет. Дж. С. Пласкетт и Дж. А. Пирс в 1938 г. на обсерватории в Виктории вывели по снимкам спектров B-звезд, что межзвездный газ участвует во вращении звезд.

Так были установлены основные черты этой звездной системы, к которой принадлежало и Солнце. Были выяснены также ее общий вид и движения в ней. Они оказались совершенно другими, чем это было первоначально установлено исследованием Каптейна. То, что мы наблюдаем как Млечный Путь, имеющий на фотографиях вид причудливо сверкающей светлой массы,— состоит из тысяч миллионов звезд. Наше Солнце расположено не в центре ее, а где-то в разреженной внешней области.

Яркое облако в Стрельце представляет собой лишь малую часть массивной центральной области, которая загорожена от нас гигантской темной полосой поглощающей материи.

Находится ли Солнце в более плотной конденсации, или же наша «местная система» только кажущееся явление, возникающее из-за поглощающей материи, еще неясно.

Выяснение строения нашей звездной системы не окончено, а только еще началось. Это особая задача. Подобно тому, как потребовалось четыре столетия после выяснения структуры нашей солнечной системы для того, чтобы детально исследовать ее и действующие в ней законы, то же происходит и с нашей галактической системой. Уже собран обширный наблюдательный материал, получены замечательные результаты о распределении и движении отдельных групп звезд — скоплений гигантских B-звезд как некоторого рода «каркаса» вселенной. Получены данные о цефеидах, о c-звездах, о планетарных туманностях. Однако выяснение всех вопросов, касающихся действительного распределения системы звезд и темной туманной материи внутри всей системы, а также их происхождения и развития осталось еще важной задачей будущих исследований.

ГЛАВА 42

В БЕСКОНЕЧНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Наша солнечная система, столь большая по сравнению с Землей, а еще более — с нами самими и тем, что нас окружает, стала рассматриваться как малая часть Галактики. Эта последняя во много миллионов раз больше солнечной системы и состоит из многих тысяч миллионов солнц. Нам удалось узнать ее размеры и динамику движения. Однако Галактика — еще не вся вселенная. Что же лежит за ее пределами? С этим вопросом мы вступили в новую область, поднялись на третью ступень в изучении мирового пространства.

Здесь мы оказались несколько в ином положении, чем в отношении предыдущих исследований. Здесь история являлась кратким вступлением к будущему. То, что было сделано не только в XIX в., но и в первой половине XX в., было лишь первой разведкой, наметкой будущего пути, выявлением только еще предполагаемых проблем, которые могли здесь встать перед учеными. Теперь нас занимало не столько прошлое, сколько будущее.

Мы уже познакомились с некоторыми звездными системами, находящимися за пределами нашей Галактики: шаровыми скоплениями*), Магеллановыми Облаками, неразрешимыми на звезды (часто спиральными) туманностями. Все шаровые звездные скопления располагались в одном полушарии неба, имеющем центр в Стрельце. Наиболее ярким из них оказалось видимое в южных странах туманное пятнышко, даже более яркое, чем звезда четвертой величины, занесенное в звездные каталоги как ω Центавра. На северном небе есть несколько меньшие, видимые простым глазом туманные звездочки шестой величины, обозначенные M13, M92 (обе в Геркулесе) и M5 (M — Мессье) в Змее. Большое и Малое Магеллановы Облака, расположенные вблизи южного полюса неба, выглядят как отдельные кусочки Млечного Пути, отстоящие на 33° и 44° от галактического экватора. Джон Гершель во время путешествия на мыс Доброй Надежды заметил и каталогизировал в Магеллановых Облаках звезды всех типов, звездные скопления, а также газовые туманности.

*) Шаровые скопления входят в состав нашей Галактики. (*Прим. ред.*)

В 1895 г. Бэли, один из гарвардских астрономов, сравнив ряд снимков шаровых скоплений М3, М5 и ω Центавра, открыл в их внешних областях большое число переменных звезд. Затем то же самое было установлено и для тридцати других таких скоплений. Почти все переменные имели короткие периоды около половины суток, но были также и звезды с периодами в несколько суток. Все они принадлежали к классу цефеид, и поэтому на основании большого числа фотографий для всех них можно было вывести как периоды, так и кривые блеска. В Малом Магеллановом Облаке они также встречались в большом количестве. В 1912 г. *) мисс Ливитт на Гарвардской обсерватории открыла у этих звезд существование явной корреляции между периодом и средним блеском (т. е. величиной, средней между максимумом и минимумом). Звезды были тем ярче, чем медленнее пульсировали. При периоде в 2 дня их средняя звездная величина составляла 15,5; при пяти сутках 14,8; при десяти сутках 14,1; при ста сутках 12,0. Все звезды в таком скоплении удалены от нас практически на одинаково большое расстояние, т. е. для всех звезд абсолютная величина отличалась от видимой на одно и то же число. Это означало, что для цефеид период регулярно возрастал со средней светимостью. По цефеидам, принадлежащим нашей Галактике, этого найти не удавалось, потому что они были удалены от нас на неизвестные нам расстояния и их параллаксы слишком малы для точных измерений. Однако в предположении, что цефеиды по всей вселенной одинаковы, Герцшпрунгу в 1913 г. удалось использовать их для калибровки шкалы их светимостей. По небольшим собственным движениям тринадцати таких звезд между второй и шестой величинами он вывел среднее параллактическое смещение из-за движения Солнца, а отсюда их параллакс и среднюю светимость. Герцшпрунг нашел, что средняя абсолютная величина цефеид была — $2^m,3$ (на 7 величин ярче Солнца) при среднем периоде 6,6 суток. Мисс Ливитт указала, что фотографическая величина цефеид в Малом Облаке ($14^m,5$) соответствовала визуальной ($13^m,0$), т. е. она была на 15^m, 3 слабее абсолютной величины. Отсюда следовало, что Малое Магелланово Облако удалено на расстояние в 1100 раз большее стандартного (в 10 парсек), к которому относится абсолютная величина. Следовательно, они находились на расстоянии в 11 000 парсек. Позднее стало ясно, что полученная шкала величин для слабых южных звезд была совершенно ошибочна. Впоследствии Шепли в 1918 г. повторил вычисление с лучшими данными. Оно изменило результат для расстояния Малого Облака до 29 000 парсек — значительно больше размера галактической системы. Так короткопериодические переменные звезды — цефеиды стали своеобразным эталоном, при помощи которого измерялись расстояния в мировом пространстве. «Звезды — маяки»,— так назвал цефеиды Джинс,— были весьма характерными из-за большой светимости и периодических вспышек света. Они оказались настоящими бакенами в далеких глубинах вселенной. Первым их использовал Шепли после того, как в 1916—1917 гг. он начал снимать шаровые скопления на 100-дюймовом телескопе Маунт Вилсон, а для наиболее ярких и переменных звезд в них стал измерять фотографические и фотовизуальные величины. Теперь для тех скоплений, где встречались цефеиды, он мог прямо вывести расстояние. Далее он заметил, что наиболее яркие звезды в одном скоплении были всегда примерно на 1^m, 5 ярче, чем цефеиды с периодом в $^1/_2$ суток, и все — красного цвета (красные сверхгиганты). Шепли также нашел, что чем меньше были размеры скопления, тем слабее оказывались звезды и тем слабее были также интегральные звездные величины скоплений, как это уже раньше определил Голечек в Вене. Это означало, что все шаровые скопления построены по одному плану, а различие их вида обусловлено лишь различием расстояний. Теперь в 1918—1919 гг. эти расстояния удалось определить для всех 86 шаровых звездных скоплений, для ярких и близких — по цефеидам, для далеких — по их видимому диаметру и интегральному блеску. Оказалось, что ближайшее скопление ω Центавра четвертой величины удалено от нас на 6500 парсек, а наиболее далекое (звездная величина 9^m, 7) — на 67 000 парсек. Они занимали сферическую область, расположенную по одну сторону от нас. Центр этой области имел долготу в 325° (находился в Стрельце) и был удален от нас более чем на 20 000 парсек. Однако в центральной плоскости Млечного Пути они не встречались, очевидно, вследствие сильного поглощения в этой плоскости. Таким образом, все эти звездные скопления были расположены за пределами массы звезд системы Млечного Пути. Шепли все же считал, что они принадлежат к системе нашей Галактики, являются чем-то вроде ее окрестности. Его работа была первым ясным указанием на то, что наша звездная система простирается в направлении к Стрельцу значительно дальше, чем до тех пор предполагалось, и что в этом направлении, очень далеко от нас, должен лежать ее центр. В 1921 г. Шепли оценил ее полный размер в 100 000 парсек. Это было значительно больше того, которое могло бы соответствовать найденному впоследствии Оортом расстоянию в 6000 парсек до центра. Однако и это также слишком большая величина, так как тогда еще не учитывалось открытое впоследствии ослабление света удаленных скоплений из-за галактического поглощения. Оба Магеллановых Облака, расположенные примерно на расстоянии 26 000 и 20 000 парсек с диаметрами в 4000 и 2000 парсек, представляют собой небольшие спутники нашей галактической системы.

*) Первая публикация относится к 1908 г. (*Прим. ред.*)

Следующая задача состояла в том, чтобы узнать, где же расположены неразрешимые туманности? Давно уже шла борьба мнений относительно того, лежат ли они внутри нашей системы Млечного Пути или за ее пределами. В упоминавшейся дискуссии 1921 г. Кертис отстаивал мнение о том, что эти туманности являются «островными вселенными». Он полагал, что это — отдельные звездные системы, лежащие за пределами Галактики и такого же типа, как она, имеющие в поперечнике не более 10 000 парсек. В противоположность этому Шепли считал, что поскольку эти туманности скапливаются вокруг полюсов Галактики, они принадлежат к системе нашего Млечного Пути. Неразрешимость туманностей на звезды, в то время как спектр туманностей все же был непрерывным, он приписывал сильному рассеянию туманной материи в них: «Спиральные туманности состоят не из обычных звезд, а из настоящих туманных объектов»[1]. Однако главный его аргумент — скопление их у полюсов Галактики и отсутствие в Млечном Пути — потерял свою убедительность, когда стало очевидным, что причиной такого распределения является сильное поглощение в плоскости Млечного Пути.

Между тем к тринадцати тысячам туманностей дрейеровского «New General Catalogue» 1888 г. в следующие десятилетия было добавлено много тысяч новых более слабых и малых туманностей, сначала благодаря изучению Максом Вольфом и Пализой пластинок с фотографиями неба, а затем благодаря картам Франклина Адамса и Гарвардской обсерватории. Были ли эти туманности действительно небольшими объектами или только казались такими из-за большой удаленности от нас? Постепенно восторжествовало последнее мнение. Правда, структура этих туманностей не была одинакова. Часть из них, имевшая форму круга или сплюснутого эллипса, показывала плавное изменение яркости, убывавшей от центра диска к краям. У других туманностей наблюдались спиральные ветви, либо широко раскинутые из небольшого ядра, либо более круто закрученные, лежавшие близко к большому массивному ядру. В обоих случаях можно было наблюдать их либо в плане (тогда они сохраняли истинную форму, такую, как часто воспроизводящиеся прекрасные типы спиральных туманностей М33 в Треугольнике и М99 в Гончих Псах), либо более или менее наклонно к лучу зрения (тогда они имели сплюснутую форму). Примером последней является самая прекрасная и большая из них, известная уже с 1619 г., вытянутая туманность Андромеды, М31. По снимкам, полученным Робертсом в 1890 г., впервые была обнаружена ее спиральная структура (рис. 74).

В 1885 г. появилась новая звезда седьмой величины в яркой области ядра туманности Андромеды. Конечно, нельзя было с уверенностью сказать, что она принадлежала туманности, а не рас-

полагалась случайно перед ней. Лишь в более поздние годы, когда было получено много снимков этой туманности на больших телескопах Маунт Вилсон, в ней стали открывать новые звезды, подоб-

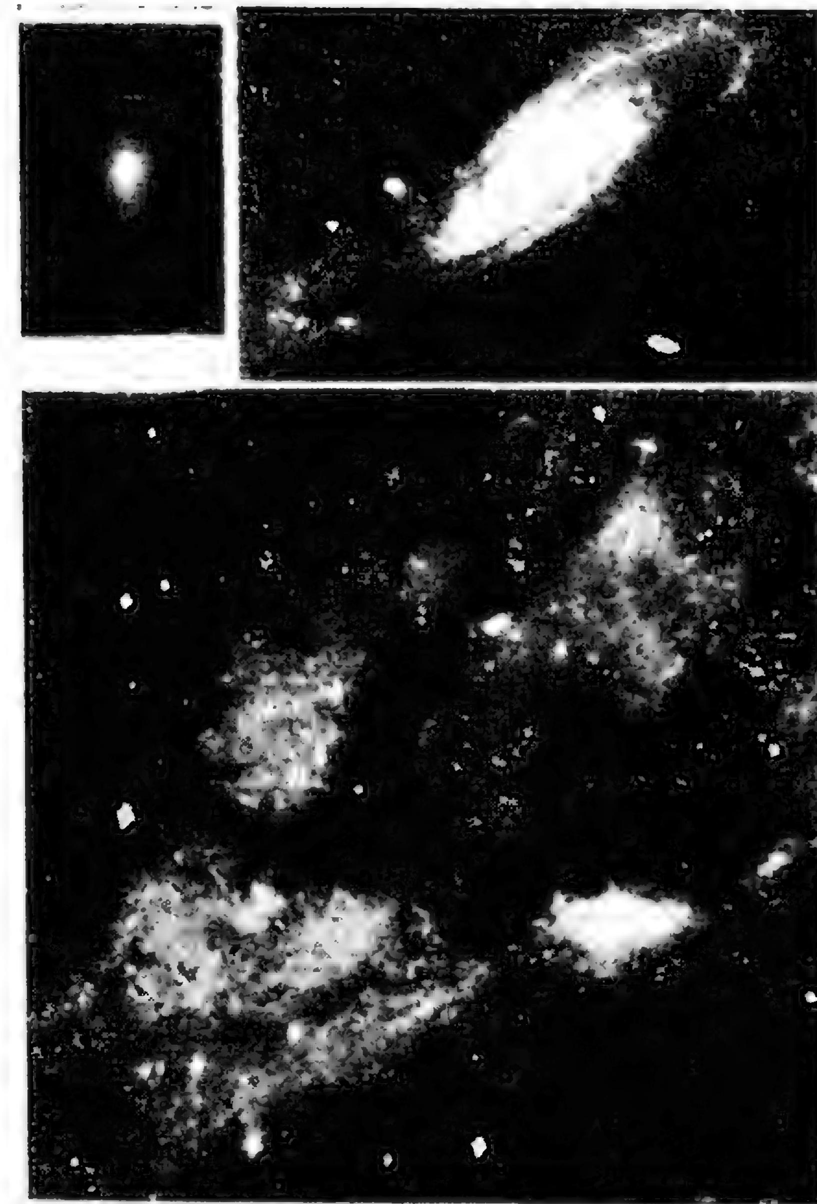


Рис. 74. Туманность Андромеды. Вверху — рисунок Кайзера и фотография Робертса. Внизу — фотография юго-западной части туманности (Маунт Вилсон).

ные новым в системе нашего Млечного Пути. Они внезапно вспыхивали до максимума и затем свет их медленно убывал, и они исчезали. Однако в максимуме они были не ярче 15—18 величины. Следовательно, если эти звезды были подобны нашим новым, то туманность должна была находиться далеко от нас. В 1919—1926 гг. Хаббл с 60-дюймовым и 100-дюймовым телескопами полу-

чил на Маунт Вилсон в большом масштабе снимки внешних областей спиральных ветвей туманностей Андромеды и М33 в Треугольнике. Теперь, наконец, на этих снимках свет туманности разрешился на огромное число чрезвычайно слабых звезд. Тщательное



Рис. 75. Фотография туманности Андромеды, полученная Ричи и Пизом в 1901 г.

изучение позволило ему обнаружить, кроме шестидесяти семи новых в туманности Андромеды, около 40 переменных звезд типа цефеид в обеих туманностях. Они имели периоды от десяти до восьмидесяти дней, их максимумы блеска лежали между восемнадцатой и девятнадцатой величинами, а минимумы — ниже предела чувствительности пластинок, что и объясняло отсутствие цефеид с коротким периодом. Однако этого максимального блеска самых ярких цефеид оказалось достаточно для установления того, что М33 удалена в 9 раз дальше Малого Магелланова Облака, т. е. находится на расстоянии 260 000 парсек, а туманность Андромеды — на расстоянии в 275 000 парсек. Диаметр первой туманности был порядка 5000, а другой — около 14 000 парсек.

Так было выяснено, что звездные системы, сравнимые с нашей Галактикой, находятся на расстоянии в сотни тысяч парсек. Следовательно, другие Галактики, представлявшиеся нам спиральными туманностями, занимают пространство за пределами нашей системы. На каком расстоянии и сколько их? Нет никаких оснований считать, что они должны ограничиваться ближайшими окрестностями Галактики. Более того, в наши каталоги занесено множество очень слабых туманностей. На расстоянии в 10 раз большем они должны казаться в 10 раз меньше по размеру и на 5 звездных величин слабее по блеску. Следовательно, мы можем принять, что небольшие спиральные туманности с блеском десятой — одиннадцатой величин расположены на расстояниях до трех миллионов парсек.

Внегалактические туманности превратились в объект, достойный специального изучения. Теперь их разыскивали систематически. В свое время уже Пиккеринг на Гарвардской обсерватории получил прекрасные большие пластинки широких областей неба с длительной экспозицией. С тех пор как Шепли стал директором этой обсерватории в 1921 г., эти пластинки были тщательно исследованы с целью разыскать слабые туманности, едва отличимые от звездочек тринадцатой — шестнадцатой величин. Выявлялись галактики, удаленные от нас на расстояния в 20, 30 и 50 миллионов парсек. Систематическое исследование 60 000 наиболее слабых туманностей, выполненное Хабблом на Маунт Вилсон, уже упоминалось.

Так, исследованное астрономией мировое пространство чрезвычайно расширилось. Число галактик в этом пространстве можно было оценить в сотни тысяч и миллионы. Шепли говорил о «галактике галактик». Однако они не были беспорядочно разбросаны. Оказалось, что большинство их собиралось в скопления и группы скоплений, расположенные близко друг от друга. У северного полюса Галактики, в созвездии Волос Вероники и Девы, находилось уже давно известное плотное скопление ярких спиральных туманностей. Группы из сотен тесных небольших туманностей все чаще обнаруживались в различных областях неба. Внутри каждой группы встречались различия в размерах туманностей. Шепли нашел, что наша собственная система Млечного Пути, наша Галактика принадлежала к самым большим. Можно было сделать заключение о «функции светимости» для группы туманностей, которые опять могли служить для определения расстояния каждой группы. Очевидно, что в этом огромном мире также была какая-то своя структура.

Теперь возникает вопрос: можем ли мы идти неограниченно этим путем? В бесконечном пространстве 50 миллионов парсек в принципе не очень сильно отличаются от одного парсека или от

1 *см*. Но действительно ли пространство бесконечно? С момента рассмотрения геометрии невклидова пространства Гауссом в начале XIX в. и Риманом (около 1854 г.) естествоиспытатели все больше и больше приходили к убеждению, что у нас нет уверенности в абсолютной применимости геометрических теорем Евклида для нашего мирового пространства[2]. Возможны небольшие отклонения в соответствии с геометрией Римана, в которой углы треугольника в сумме несколько больше 180°, две параллельные линии должны пересекаться на конечном расстоянии, а пространство хотя и неограниченно, но не бесконечно. Все это лучше всего устанавливалось по аналогии с двумя измерениями, когда геометрия плоской поверхности заменялась геометрией сферической поверхности. Вводилось понятие «кривизны пространства»; если она мала, то отклонения от евклидова пространства будут заметны только на больших расстояниях. Размеры нашей Галактики так малы, что различие между обеими геометриями не должно быть заметно. Однако система галактик, в тысячи раз бóльшая, давала возможность натолкнуться на симптомы такого «искривления» нашего пространства.

Однако новые неожиданные открытия совершенно изменили ответ на этот вопрос или, вернее, свели его к новым, более широким проблемам. Мы уже упоминали, что по лучевым скоростям шаровых скоплений и наиболее ярких спиральных туманностей была определена скорость Солнца в 300 *км/сек* в его обращении вокруг центра Галактики. При этом не учитывались индивидуальные отклонения, т. е. собственные движения объектов со скоростями в сотни километров в секунду. Тогда для увеличения количества материала Слайфер на Ловелловской обсерватории и Пиз на Маунт Вилсон в 1916—1917 гг. стали измерять лучевые скорости более слабых спиральных туманностей. Оказалось, что все они положительны. [Все эти туманности удалялись от нас, причем самые слабые — быстрее всего, со скоростью более 1000 *км/сек*.] Шепли уже в 1919 г. указал на это, но тогда еще не смог объяснить, с чем связано такое увеличение скорости. Однако в 1929 г. Хаббл показал, что скорость удаления зависит от расстояния и даже правильно возрастает с расстоянием (рис. 76). Для того чтобы проверить это замечательное соотношение, следовало сфотографировать спектры слабых туманностей, от четырнадцатой до восемнадцатой величины. Для этого требовалось весь свет, падавший на 100-дюймовое зеркало с поверхностью в 5 $м^2$, сконцентрировать в спектр длиной в 2—3 *мм*. На фоне этого непрерывного спектра (получаемого главным образом от звезд второго типа) были видны лишь дублет ионизованного кальция H и K, да иногда группы линий G и H_γ. Все эти линии находились на необычных местах — они оказались сдвинутыми далеко к красному концу спектра, на

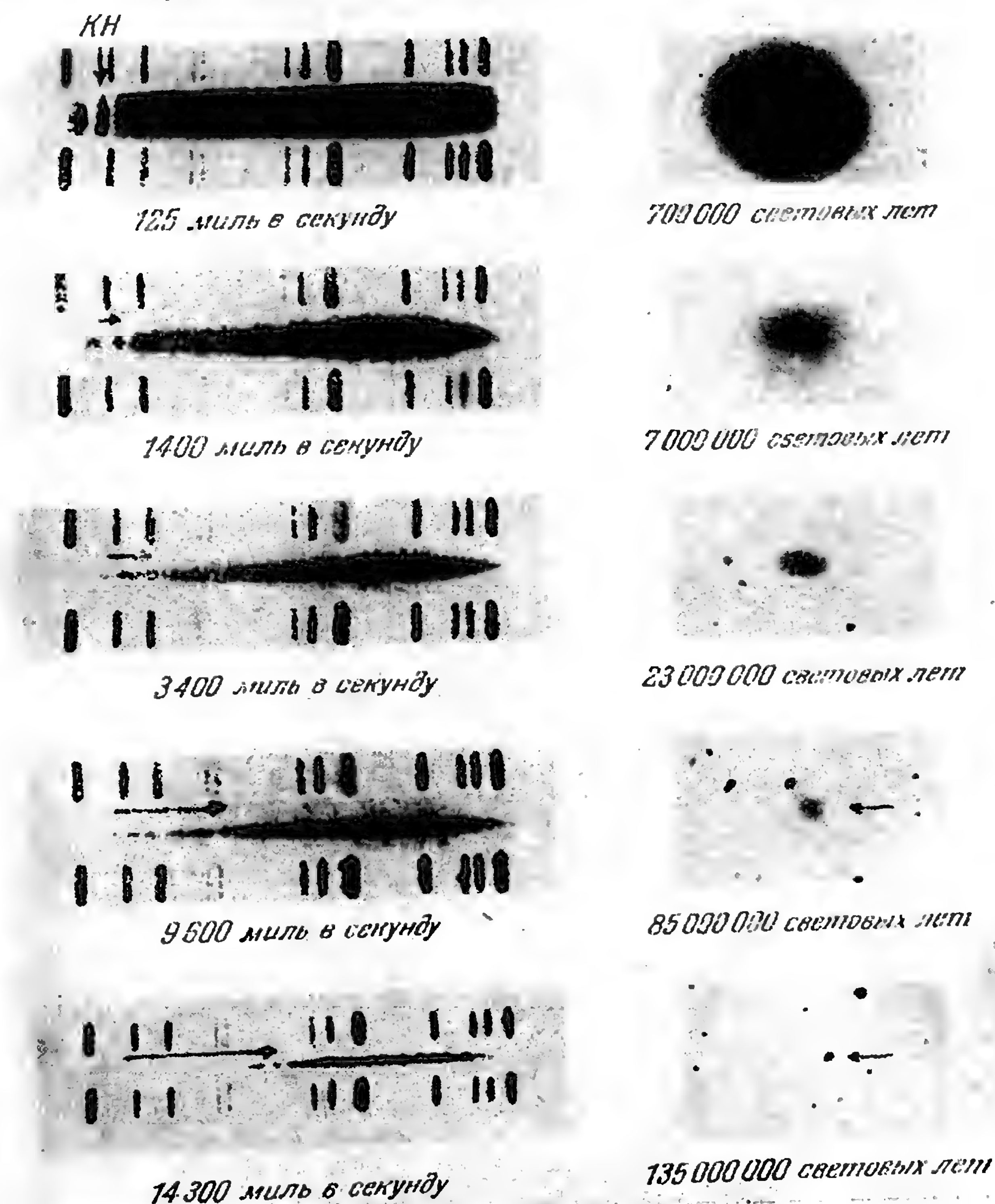


Рис. 76. Лучевые скорости туманностей (Хаббл. «Царство туманностей»). Смещение дублета H и K.

десятки и сотни ангстремов, что соответствовало скоростям удаления от нас в десятки тысяч километров. Наибольшей скоростью, измеренной в 1936 г., была скорость в 42 000 *км/сек* у маленькой туманности величины 17^m, 9, самой яркой из группы Большой Медведицы, расстояние до которой, по оценке Хаббла, составляло 72 миллиона парсек [3].

Это открытие, показавшее, что далекие галактики удаляются от нас со скоростью, пропорциональной их расстоянию — примерно от пятисот до шестисот километров в секунду на миллион парсек,— было столь замечательным и непонятным явлением, что оно должно было привести к полному перевороту в наших представлениях о вселенной. Отсюда не следовало, что наша Галактика с Солнцем покоилась в центре вселенной. Открытие означало, что весь этот мир расширялся так, что все его члены удалялись друг от друга.

Здесь совершенно неожиданно люди оказались перед данными, которых никогда не могли даже и предполагать. Во всех более или менее фантастических космогонических теориях, которые в любом случае означали сильную экстраполяцию современных процессов, всегда предполагалось, что происходящее развитие можно проследить неопределенно далеко в прошлое. Это создавало некоторые неприятности, появлявшиеся всегда, когда слишком легкомысленно говорили о бесконечности. Однако теперь перед людьми оказались некоторого рода начальные данные, правда, не «творения», но все же относящиеся к тому времени, с которого началось современное развитие и дальше которого пока еще нельзя заглянуть назад.

Правда, это целиком основано на предположении, что скорость каждой галактики вечно была и навсегда останется одной и той же. Это хотя и совпадало с нашим механическим «законом инерции», но все же не абсолютно точно. Следует добавить также, что время эволюции отдельных звезд оказывалось значительно большим. Однако теперь привлекали внимание и многие другие явления, говорившие о том же самом. Процентное содержание радиоактивных веществ в земных горных породах и в метеоритах, при сравнении с известной скоростью их распада, указало на то, что от начальной стадии их возникновения прошел период времени около тысячи миллионов лет.

Было выдвинуто предположение, что открытые звездные скопления в нашей Галактике возникли из плотных сгущений, которые постепенно распадались из-за притяжения соседних звезд. Это должно было происходить в течение конечного промежутка времени порядка миллиарда лет. Выравнивание энергии движения (тот факт, что самые массивные звезды имели наименьшие скорости) можно было объяснить только результатом их взаимодействий, если бы раньше они находились значительно ближе друг к другу. Все эти рассуждения приводили к одному и тому же заключению, что современное развитие галактик, на которое потребовалось несколько миллиардов лет, началось из первоначального состояния, когда галактики, а возможно, также и сами звезды, были расположены очень близко друг к другу. Или же, выражаясь иначе: когда единство первоначального состояния было разрушено взрывом, вспышкой, тогда ее части начали разлетаться в бесконечные дали, каждая со своей скоростью, большей или меньшей, но остававшейся равномерной.

Открытие «разбегания» Галактики сделано в эпоху глубоких дискуссий о пространстве и времени. Общая теория относительности, сформулированная Эйнштейном в 1916 г., свела гравитацию к местному искривлению пространства, производимому материей в четырехмерной пространственно-временной схеме. Из-за полного притяжения всей массы пространство в целом также должно было иметь положительную кривизну, т. е. считалось конечным. Однако формулы, выведенные Эйнштейном и де Ситтером, показали, что пространство не может находиться в состоянии устойчивого равновесия. По теории, предложенной бельгийским ученым Лемэтром из Лувена в 1927 г., радиус кривизны должен был быть переменным.

В связи с наблюдавшимся явлением разбегающихся галактик возникло также представление о «расширяющейся вселенной». Материальные элементы вселенной — галактики разбегались все дальше. Однако теперь это объяснялось не тем, что объекты удалялись друг от друга благодаря собственному их движению, а расширением пространства, в котором они находились. Нечто подобное должны были в двумерном пространстве проявлять точки, находящиеся на поверхности расширяющегося эластичного мяча.

При этом только что открытое явление больших скоростей туманностей получило естественное объяснение или, вернее, более глубокое обоснование, как следствие свойств пространства. В 1931 г. Эддингтон расширил эту теорию и связал ее с атомной структурой материи. Исходя только из известных физических констант, он чисто теоретически подсчитал число электронов и протонов во вселенной (тех и других по $1{,}3 \times 10^{79}$), их полную массу ($1{,}08 \times 10^{22}$ солнечных масс) и скорость разбегания галактик (528 *км/сек* при расстоянии в миллион парсек). Сложность и запутанность гипотезы расширяющейся вселенной снова и снова приводили к вопросу о том, не вызывали ли красное смещение линий в спектре далеких туманностей какие-либо иные влияния, действующие на световые лучи во время их длительного странствия, продолжающегося сотни миллионов лет.

Милн в ряде исследований, начатых с 1932 г., выдвинул совершенно другую космологическую теорию, в которой наша свобода выбора меры времени при переходе от настоящего к далекому прошлому использована для построения простой структуры пространства. Красное смещение возникало здесь потому, что в далеком прошлом колебания атомов, выраженные в шкале времени, применявшейся в динамике Ньютона, происходили медленнее.

Так астрономия оказалась перед множеством новых задач. Правда, и характер их совершенно изменился, он стал уже не чисто астрономическим. Прежде всего следует назвать проблемы пространства и времени, которые интересовали как астрономов, так и физиков и математиков. Теперь эти проблемы стали превращаться в многосторонний, загадочный объект новой науки, объединившей астрономию, физику, математику и теорию познания, к которой стало применяться название космологии. При решении космологических проблем самым выдающимся теоретикам приходилось сотрудничать для того, чтобы связать новейшие астрономические данные с фундаментальным физическим анализом и самыми абстрактными математическими методами. При этом слиянии с другими науками астрономия, наука о звездах, превратилась в науку о вселенной.

ГЛАВА 43

ЖИЗНЬ ЗВЕЗД

Мы уже упоминали в главе 6, что вавилонские астрономы в своих предвычислениях называли суточное движение Солнца или Луны словом, обозначавшим «жизнь» небесного светила. Собственное движение было для них признаком жизни. Для современной науки жизнь живых существ состоит в первую очередь в превращениях энергии. Все жизненные процессы каждого организма составляли часть большого круговорота в природе, в превращениях материи и энергии. Любое проявление жизни, всякая активность есть превращение энергии, получаемой из внешнего мира и отдаваемой во внешний мир. Источником всей (или почти всей) энергии, совершающей этот круговорот на Земле, является излучение Солнца. То, что происходит в живых организмах, представляет собой слабое последействие мощного излучения, которое Земля получает от Солнца. Это излучение — в 50 000 раз ослабленный из-за большого расстояния поток энергии, испускаемый внешними слоями Солнца, вещество которых раскалено примерно до 6000 градусов.

Следовательно, если мы спросим об источнике всей жизни во вселенной, включая и нашу жизнь, то это будет вопрос об источнике энергии звезд. Мы уже встречали эту проблему, говоря о вопросе происхождения и поддержания солнечного тепла. Однако тогда, в XIX в., ответ на этот вопрос был неудовлетворительным. 20 миллионов лет, которые теория сжатия приписывала Солнцу, были слишком коротким сроком для длительных геологических процессов выветривания, осаждения ила и образования новых слоев горных пород, на которые геологи отводили по меньшей мере несколько сотен миллионов лет. Однако физика и астрономия того времени не могли дать более удовлетворительного решения.

Эта проблема снова возникла (но теперь уже более строго детализированная) после того, когда Эддингтон в 1916 г. опубликовал первые исследования о внутреннем строении звезд. Математические уравнения, определявшие это строение, показывали, что у звезды, находящейся в состоянии равновесия, каждый слой или сферическая оболочка излучает в пространство именно такое ко-

личество энергии, какое вырабатывается в более глубоких внутренних слоях. Энергия, возникшая внутри звезды, явилась фундаментальной величиной в этой задаче. Следовало подробно узнать, где внутризвездная энергия возникала и от каких факторов она зависела. Однако об этом, собственно, ничего не было известно. Поэтому Эддингтон провел вычисления для двух возможных предельных предположений, а именно: что энергия возникает равномерно во всей массе и что вся энергия образуется только в центре звезды, где температура и плотность наивысшие. К счастью, оба результата отличались незначительно.

Получены ли были указания об источниках излучаемой энергии? Это стало теперь возможным в результате революции, произведенной Эйнштейном в фундаментальных положениях физики.

В теории относительности вводилось понятие о равнозначности или, собственно, идентичности массы и энергии[1]. Один грамм массы был эквивалентен $9 \cdot 10^{20}$ *эрг*. Насколько колоссально это количество, можно увидеть из того, что при обычном горении, представляющем собой соединение углерода с кислородом, из одного грамма вещества освобождалась энергия, составлявшая лишь $^1/_{10\,000\,000\,000}$ ее часть.

Таким образом, теперь стало понятно, что новая энергия возникала благодаря аннигиляции массы. Это должно было означать, что звезда, испускающая излучение, теряла свое вещество, количество которого таким образом медленно уменьшалось, «выгорало». Предполагалось, однако, что энергии при этом выделялось в миллионы раз больше, чем при обычном горении. В своей ставшей уже классической книге 1926 г. о внутреннем строении звезд Эддингтон смог выдвинуть только два предположения. Во-первых, прямая аннигиляция частиц. Если положительно заряженный протон и отрицательно заряженный электрон соединятся, то их заряд исчезнет. Тогда их общая масса должна перейти в энергию высокочастотного излучения (гамма-лучи). Во-вторых, образование гелия из водорода. Если 4 ядра атома водорода соединяются с двумя электронами в ядро гелия, то при этом теряется 0,0124 массы (примерно $^1/_{320}$ полного веса), и эта разность (так называемый «дефект массы») превратится в энергию. Для возмещения нынешнего излучения Солнца (30 миллионов эргов на грамм за год) требуется за год превратить в гелий количество водорода, равное всего $1:10^{11}$ солнечной массы. Это давало Солнцу достаточную продолжительность жизни. Однако был ли этот процесс также и реальным? Или лучше: при каких условиях он мог бы осуществиться?

Здесь одна только астрономия не могла продвинуться вперед. Ей пришлось искать помощи у физики и особенно у выросшей

и именно теперь быстро развивающейся ее отрасли — ядерной физики. С тех пор, как Резерфорд в 1919 г. превратил одно атомное ядро в атомные ядра иного типа (при помощи бомбардировки самыми быстрыми, проникавшими в него частицами), многие физики стали применять этот метод ко всякого рода составным ядрам. Таким образом, подобные данные были получены на основании изучения всех этих превращений, их энергетического баланса и частоты. Большие скорости частиц (электронов, протонов или α-частиц), необходимые для разрушения атомных ядер, были обнаружены в природе лишь в случае исключительно высоких температур, порядка миллионов и сотен миллионов градусов. Существование таких температур можно было ожидать только в недрах звезд. Звезды были огромными мировыми «печами», горящими за счет освобождения энергии при этих превращениях.

Так, наряду с недрами атомов перед глазами ученых раскрылись также и недра звезд. На внешней, видимой поверхности звезды господствовали температуры порядка 10 000°, как выяснилось по их спектрам. Самые внешние электроны атомов носились во все стороны, отрывались, становились свободными и снова захватывались в непрестанной игре поглощения и испускания излучения, сопровождающих возбуждение, ионизацию и рекомбинацию. Глубже, в более плотных слоях звезды, откуда прямое излучение не могло уже проникать во внешний мир и в наши инструменты, при более высоких температурах во многие десятки и сотни тысяч градусов, все электронные оболочки оказывались оторванными. Только наиболее прочно связанные внутренние (близкие к ядрам) электроны самых тяжелых атомов сохранялись или, оторвавшись, каждый раз рекомбинировали снова, перенося энергию то поглощения, то излучения. Такой процесс можно было назвать «внутренней жизнью» звезды. Однако это — лишь пассивная жизнь — энергия, приходившая изнутри, только передавалась при помощи подобных процессов дальше к поверхности. Наконец, проникнув еще глубже внутрь звезды, мы встретим еще более высокие температуры порядка миллионов градусов. Здесь уже атомы настолько разрушены, что не могут сохраняться, и остаются лишь обнаженные ядра, которые оказываются не в состоянии построить сколько-нибудь прочные системы из множества беспорядочно носящихся электронов.

Однако этим дело не кончалось. Теперь, при еще более высоких температурах и скоростях, в самых плотных центральных областях звезд возникали новые процессы, уже в самих атомных ядрах. В путаницу быстро и беспорядочно носившихся частиц теперь вторгались также протоны и ядра гелия (альфа-частицы), проникавшие внутрь самых тяжелых атомных ядер и создававшие

таким образом новые ядра. Они по большей части снова распадались, выбрасывая отрицательные или положительные электроны, или же расщеплялись, испуская или поглощая гамма-излучение. При этом, однако, возникали устойчивые ядра и таким образом постепенно из водородных ядер (протонов) строились прочные ядра более тяжелых атомов. Теперь, при помощи эмпирических данных физики, все эти процессы теоретически все лучше исследовались и рассчитывались, так же как и их энергетический баланс. Действительно, настоящая активная жизнь звезд состояла в игре процессов разрушения и созидания, построения и распада ядер, при самых предельных скорости, температуре и давлении, для выражения которых нам пришлось бы использовать миллионные числа, так же как и для выражения размеров вселенной. В 1929 г. Гамов устранил еще одну трудность, состоявшую в том, что температуры в центре звезд не были еще достаточно высоки для этих процессов. При помощи волновой механики он доказал, что если скорость летящей частицы и недостаточна для вторжения в атомные ядра, то все же небольшой их процент (однако достаточный для этой цели) ухитрится пробраться туда.

Наука об этих процессах только еще создается. Таким образом, можно надеяться на решение многочисленных вопросов относительно возникновения, жизни и дальнейшей судьбы звезд, которые только начали ставиться. Исследование Бете в 1938 г. уже показало, что в результате цикла построения и разрушения углеродных, азотных и кислородных ядер из протонов возникает столько ядер гелия, что таким образом можно было бы объяснить нынешнее излучение Солнца. Следовательно, эта старая проблема об источнике солнечного тепла теперь была решена. Однако при этом удалось получить еще больший выигрыш. Если известен источник энергии, то должна быть известна также зависимость количества выделяемой им энергии от плотности и температуры и, в частности, то, что этот источник находится в центральных областях звезды.

Благодаря тому, что препятствие, которое мешало Эддингтону, было теперь устранено, появилась возможность с большей точностью рассчитать внутреннее строение звезд.

Так мы начали понемногу узнавать внутренние процессы жизни звезд. Однако жизнь — не только бесконечное повторение всегда одних и тех же превращений энергии. Жизнь — это развитие. Как у любого организма жизнь заключается не только во внутренних процессах, но также и в общем росте, становлении и развитии индивида и рода, так было и у звезд. Жизнь — это прогрессивное изменение, прогресс, при котором возврат назад невозможен в соответствии со вторым законом термодинамики. Жизнь — это старение, это — возникновение и гибель.

Таким образом, это был старый вопрос об эволюции звезд, представший теперь в новом свете. Он стал вопросом о том, как возникли и развивались звезды, какие типы их в какие преобразовались. За последние годы каждый раз, когда наблюдение открывало новые точки зрения, этот вопрос вновь поднимался и предпринимались попытки ответить на него. Самая последняя из них была связана с диаграммой Герцшпрунга — Рессела. Однако все эти попытки не были достаточно надежны. Жизнь человечества слишком коротка для того, чтобы можно было заметить длительные изменения в звездах! Мы видим многообразие форм, но то, как они возникли друг из друга, каково соотношение между поздними и ранними фазами эволюции, можно представить себе только мысленно, раскрыть при помощи теории. А это станет возможным лишь тогда, когда внутриатомные процессы будут досконально известны.

Сейчас этот механизм только начали узнавать. Постепенное изменение процессов, происходящих в недрах звезд, действительно обнаруживается. Из первичной материи — ядер водорода (протонов) были построены как ядра гелия, так и ядра более тяжелых атомов. Процентное содержание водорода в звезде в ходе ее развития постепенно уменьшалось. При этом изменялся средний атомный вес свободных частиц, а вместе с тем изменялось и строение слоев, их плотность и температура, изменялась и вырабатываемая звездой энергия, а следовательно, и спектральный класс звезды. Бенгт Стремгрен и Эддингтон изучили это постепенное убывание водорода как определяющий фактор в эволюции звезд. Когда запас водородных ядер подходил к концу, как мы могли уже видеть раньше, звезда должна была наконец погаснуть. Конечно, весьма вероятно, что одновременно происходили также и другие ядерные процессы, усложнявшие ход явления.

В любом случае из астрономической практики мы знаем, что не все идет гладкими путями. Знание ядерных процессов должно было привести к возникновению нового взгляда на причину неустойчивости, проявлявшейся в пульсации цефеид. Еще бо́льшая нестабильность приводила к катастрофе — взрыву новой звезды.

Спектральный анализ, получивший высокое развитие как раз в тот период, когда появилось много ярких новых звезд, смог установить, что происходит при таком взрыве. При начале вспышки (такие моменты удалось поймать всего лишь несколько раз) спектр звезды относился к классам A или B. Затем, однако, он изменялся — через день появлялся спектр с широкими эмиссионными линиями. Слой или оболочка из горячих газов расширялась во все стороны с большой скоростью, иногда до 1000 и более километров в секунду, очевидно, из-за внезапного колоссального повышения давления внутри звезды. При непрерывно продолжав-

шемся расширении оболочка охлаждалась, излучение и яркость уменьшались, и наконец она диссипировала. Основная масса оставалась видна в виде маленькой звезды, однако теперь уже как О-звезды — со значительно более высокой температурой и меньшей поверхностью.

Возможно, что планетарные туманности были остатками прежних новых звезд. Мы уже знаем о расширяющейся Крабовидной туманности в Тельце, оставшейся после появления в 1054 г. новой звезды (китайской «звезды-гостьи»).

Причина, вызывающая наступление внезапной нестабильности, из-за которой все это происходило, так и оставалась неразрешенной проблемой. Между тем стали известны еще более замечательные явления, чем обычные новые звезды. Если новая звезда, которая появилась в 1885 г. в туманности Андромеды, действительно принадлежала к этой далекой галактике, то ее светимость должна была в десятки тысяч раз превосходить светимость многих обычных новых звезд этой системы, имевших примерно шестнадцатую или семнадцатую звездную величину. Такая звезда (с абсолютной величиной около — 15^m), если бы она находилась от нас на расстоянии ближайших звезд, должна была казаться во много раз ярче полной Луны! Бааде и Цвикки (Калифорния) в 1934 г. выдвинули теорию о том, что такие «сверхновые» действительно существуют. Их блеск немногим меньше блеска целой галактики. Действительно, при систематическом обследовании спиральных туманностей было обнаружено очень много подобных вспышек. Конечно, они значительно реже обычных «новых». В каждой галактике по проведенной оценке такие звезды вспыхивали один раз примерно за 500 лет. Бааде и Цвикки полагали, что звезда, наблюдавшаяся Тихо (свет ее убывал очень медленно), была именно такой сверхновой. [Тогда она должна была находиться на расстоянии около 1000 парсек.]. То же самое было справедливо и для «китайской» Новой 1054 г. Эти «сверхновые» поставили перед астрофизикой еще более трудные проблемы.

Вернемся теперь к ядерным процессам в обычных звездах. Выработка энергии в их недрах связана с превращением атомных ядер, а также с образованием более тяжелых устойчивых атомов из более легких. Так расширилась проблема в руках исследователей. Теперь они пришли к выявлению источника непрерывно изливавшегося потока энергии. Полученный ответ был не только ответом на вопрос, откуда берется излучаемая звездами энергия, но также и ответом на вопрос о происхождении атомов. Откуда взялись все эти различные атомы (т. е. атомные ядра, легкие и тяжелые), которые мы в определенном процентном соотношении встречаем в мире повсюду: на Земле, в метеоритах, в звездах? Теперь стала очевидной мысль о том, что все стабиль-

ные атомы, имеющиеся в настоящее время, образовались в течение длительного периода развития из первичного вещества протонов. Многочисленные их остатки в виде ядер атомов водорода еще обнаруживаются в водородных линиях в спектрах А-звезд, в протуберанцах Солнца, а также в воде на Земле и в содержащих воду живых существах (без воды не могла бы существовать никакая протоплазма, т. е. живой организм). Это означало, что в космических «печах» центральных областей звезд создавались и создаются целые миры.

Теперь здесь снова появилась трудность, а именно: для проникновения протонов в более тяжелые ядра, т. е. для построения самых тяжелых атомов, необходимы еще большие плотности и еще большие скорости, т. е. еще более высокие температуры порядка многих сотен или тысяч миллионов градусов. Однако их не находили нигде, даже в самых глубоких недрах известных нам звезд. Не указывало ли это на то, что самые тяжелые ядра урана, свинца и золота и были первоначальным веществом? В самом деле, что означает здесь слово «первоначальный»? Должны ли мы предполагать, что однажды где-либо все же были высокие температуры? Тогда тяжелые элементы должны были остаться как археологические останки, дающие нам возможность узнать о давно исчезнувших условиях. Возможно, что необходимые высокие температуры и плотности удастся связать с прежним состоянием плотно упакованных звезд и галактик, существовавших 2000 миллионов лет тому назад. Однако все это — еще неопределенные предположения, медленное блуждание в потемках глубокого прошлого *).

Таким образом, здесь пока оставалась еще необозримая целина новых проблем, в которую вонзились лишь первые заступы. Снова стали оперировать миллионами, но они относились не к расстояниям и размерам, а к интенсивностям энергии. Здесь стремились не к бесконечным далям, не к изучению строения Большой Вселенной, а к изучению бесконечно малой, тончайшей структуры природы, к тому, что грубый мир органов чувств называет «веществом» и «излучением». Это снова стало возможным лишь благодаря сотрудничеству с другими науками, особенно с теоретической физикой и абстрактной математикой при исследовании излучения и вещества различного рода небесных тел. Так астрономия принимает участие в раскрытии глубочайшей внутренней сущности мира.

---

*) За последнее десятилетие достигнуты большие успехи в разработке теории развития звезд и звездных систем. (*Прим. ред.*)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы проследили развитие астрономической картины мира, начиная с появления первой цивилизации в доисторический период варварства. История науки дает нам увлекательное зрелище духовного роста, сопровождавшего развитие человечества в течение всего периода цивилизации. Сколько бы удивительных знаний и взглядов ни принесла эта наука, ее задача все еще далека от завершения. Относительно ближайшего к нам соседнего мира — Луны — человек стоит еще перед вопросами, которые, возможно, будут решены только тогда, когда к методам пассивного наблюдения удастся присоединить активный эксперимент[1]. Что касается нашего непосредственного окружения во вселенной — солнечной системы, здесь наши знания лишь недавно вышли из стадии полной неопределенности и во всех отношениях еще несовершенны. Наша наука о звездной системе и самих звездах находится еще в самом начале и ограничивается внешней стороной явлений. О бесконечных пространствах за ее пределами и о недрах звезд, их развитии в прошлом и будущем едва намечена первоначальная точка зрения; все это еще проблемы. В любой частности, в любой более широкой области, мы стоим перед рядом интересных вопросов. Настало время, чтобы человечество, основав свободное всемирное общество, где господствует производительный труд, обеспечило в изобилии свою материальную жизнь и освободило все духовные силы для совершенствования своих знаний о природе, науки о вселенной[2].

КОММЕНТАРИИ

центра культа бога Мардука — «Ka-ash-da» — буквально «Место ворот бога». По-ассирийски это название звучало как «Халду». Семитический перевод аккадо-ассирийского звучания превратился в «Bab-il-lu», а греки переделали его в «Babylon», т. е. Вавилон. См.: L. A. Waddel. «Shinar of the old testament discovered to be the ancient sumerian name of Babylon, and discovering the historical origin and purpose of the «Tower of Babel», London, Luzac and C°, 1922.

2. Теперь принята иная датировка: 2350—2150 гг. до н. э.

3. Обычно использовались не металлические, а тростниковые стилусы.

4. Nisannu, airu, simannu, duzu, abu, ululu, tishritu, arachsamma, kislimu, tebitu, sabatu, adaru — древневавилонские названия месяцев. Иногда переводятся на русский язык в иной транскрипции (И. Н. Веселовский, Звездная астрономия Древнего Востока, в сб.: «Вопросы истории физ.-мат. наук», М., «Высш. шк.», 1963, стр. 452—465). В голландском оригинале здесь было еще подстрочное примечание о правилах произношения.

5. F. X. Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel, II, Münster, 1909, S. 253.

6. Ch. Virolleaud, L'Astrologie chaldéenne, Paris, 1908—1912, I, Ishtar, XXVI, pp. 1—9; Kugler, там же, III, 1913, стр. 169.

7. L. W. King, Babylonian Religion and Mythology, London, 1903, p. 79.

8. «Гир-таб» (шумерск.) — «каккабу» (аккадск.) — Скорпион.

9. Kugler, там же, т. II, стр. 259.

10. E. F. Weidner, Alter und Bedeutung der babylonischen Astronomie etc., Leipzig, 1914, SS. 91—92.

11. American Journal of Sciences and Arts, 1885, p. 273.

ГЛАВА 4

1. В настоящее время принято несколько иное произношение этих имен и датировка: Салманасар (имеется в виду Салманасар IV); Саргон (имеется в виду Саргон II); Синаххериб (705—680 гг. до н. э.); Асархаддон (680—668 гг. до н. э.).

2. По-видимому, здесь речь идет о так называемых «деканах».

3. G. Smith, Assyrian Discoveries, London, 1875, p. 405; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, XXXIX, p. 454.

4. Здесь указана ошибочная дата. В настоящее время эта дата относится не к 2500 г. до н. э., а к 2050 г. до н. э.

5. Thureau Dangin, Die Sumerischen und Akkadischen Königsinschriften, 1907, pp. 88 ff.; Revue biblique, LV, № 3, 1948, 403, cylindre A (4—6).

6. Древневавилонские названия планет, приведенные А. Паннекуком по книге Р. К. Томпсона и сохраненные в английском переводе, не соответствуют данным современной науки. Как теперь выяснено, Солнце и планеты носили у вавилонян следующие названия:

Меркурий — «Гу-уту», т. е. «солнечный бык»,
Венера — «Дили-пат»,
Луна — «Син»,
Солнце — «Шамаш», «Шамшу»,
Марс — «Сал-бат-а-ни»,
Юпитер — «Мул-баббар» или «Саг-ме-гар», т. е. «белая звезда»,
Сатурн — «Генна».

7. Цитируемые отрывки древневавилонских текстов в переводе на английский язык не совпали точно с книгой Томпсона. Вероятно, А. Паннекук

дал свой перевод клинописных текстов, а английский переводчик внес в них лишь незначительные изменения. В русском переводе сохранен перевод Томпсона с некоторыми изменениями, основанными на последних достижениях науки (опущены неправильные чтения названий планет, заменены устаревшие названия месяцев, дан правильный перевод географических названий).

8. Kugler, там же, т. II, стр. 71—72; т. III, стр. 315.

9. У Паннекука приводится устаревшее чтение вавилонской идеограммы. По-шумерски она должна читаться как «биббу» — («уду-идим») (аккадск.).

10. Virolleaud, там же, Sin., XIX, pp. 19—22; Weidner, там же, p. 23.

ГЛАВА 5

1. В голландском оригинале было: «Если вы в месяце нисанну на 20 день утром перед восходом Солнца установите перед собой шест для наблюдений так, чтобы справа был запад, слева — восток, а перед вами — юг, тогда звезда γ Лебедя будет стоять в середине неба перед вашей грудью и появится звезда Капелла». (Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel, II, S. 36.)

2. Kugler, там же, т. II, стр. 21.

3. Там же, стр. 77.

4. Там же, т. I, стр. 64.

5. Имеется в виду то, что Венера и Меркурий, как внутренние планеты, обращающиеся вокруг Солнца, наблюдались всегда вблизи него, незначительно удаляясь от Солнца то влево, то вправо.

6. Здесь вновь приводятся устаревшие названия планет (см. коммент. 6 к гл. 4). (Kugler, там же, т. I, стр. 45.)

7. Здесь дано устаревшее чтение вавилонских мер, означающих: «аммат» — «локоть», «убани» — «палец».

8. Kugler, там же, стр. 71.

9. Там же, стр. 77.

10. Там же, стр. 59.

11. Там же, стр. 91.

12. Там же, стр. 97.

13. J. N. Strassmaier and J. Epping, Ein Babylonischer Saros-Canon, Zeitschrift für Assyriologie, VIII, 1893, S. 176; X., 1895, S. 67.

14. *Dup* (dir) — сокращ. от «di-ri» — «прибавлять». Таким значком отмечались вставные месяцы в вавилонских таблицах затмений.

ГЛАВА 6

1. Халдеи — вавилоняне. Название «халдеи» введено греками (Беросом и др.). Термин происходит от ассирийского чтения древнешумерского названия Вавилона (см. комментарий 1 к главе 3). В настоящее время этот термин не применяется в научной литературе.

2. В настоящее время науке неизвестны какие-либо древневавилонские инструменты. Правда, в Британском музее хранятся так называемые «вавилонские астролябии» (R. H. M. Bosanquet and A. H. Sayce, The Babylonian Astronomy. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. XL, January 9, 1880, № 3, pp. 105—123), природа которых еще не выяснена. Исследования вавилонских наблюдений эпохи Навуходоносора II были проведены в 1915 г. (P. V. Neugebauer, E. F. Weidner, Ein astronomischer Beobachtungstext aus dem 37. Jahre Nebukadnezars II. Berichte über die Verhandlungen der köngl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, 67, 1915, S. 29—89).

3. Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel, I, S. 152.

4. Там же, II, 524—530.

5. Kugler, Die babylonische Mondrechnung, Freiburg, 1900, S. 75—82.

6. O. Neugebauer, Untersuchungen zur antiken Astronomie, II, Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik etc., Abt. B, Bd. IV, Berlin, 1937, S. 84. Таблица вставлена в английском переводе.

7. O. Neugebauer, The History of Ancient Astronomy. Journal of Near Eastern Studies, IV, 1945, p. 12.

8. Kugler, Die babylonische Mondrechnung, S. 9—10.

ГЛАВА 7

Приведенные в этой главе сведения по истории древнеегипетской астрономии весьма неполны, а иногда неверны. Так, например, нельзя согласиться с А. Паннекуком, что египтяне почти не наблюдали звезд. За последние годы был выполнен ряд обстоятельных исследований, значительно расширивших наши знания о науке Древнего Египта. К числу наиболее важных работ принадлежат следующие: O. Neugebauer, The exact sciences in antiquity, 2-d. ed., Rhode Island, 1957; B. L. Van der Waerden, Babilonische Methoden in ägyptischen Planetentafeln, Vierteljahrschr. Naturforsch. Gess., Zürich, 1960, 105, Bd. 2, 97—144; O. Neugebauer und H. Gerstingen, Astronomische Papyri aus Wiener Sammlungen, Wien, 1962, а также ряд работ И. Н. Веселовского (особенно о египетских «деканах»).

1. За недостаточностью сведений о древнейшем периоде истории Египта точное число столетий существования этого государства установить не удалось. Поэтому принят условный счет лет — по династиям. Около 300 г. до н. э. египетский жрец Манефон составил список, насчитывавший 30 династий. Английский переводчик, вставивший в текст 26 династий вместо 30, которые были в оригинале, по-видимому, произвольно отбросил период Позднейшего царства.

2. В голландском издании было: «Гелиакический восход Сириуса в 3000, 2000 и 1000 годах до н. э. приходился соответственно на 24 июня, 2 июля и 10 июля».

3. Такая оценка значения египетской астрономии не соответствует действительности. Астрономия, как и другие науки, достигла в Египте высокого развития, хотя и оставалась жреческой наукой, не доступной широким массам.

4. Утверждение автора звучит неубедительно. Если Луна и звезды не были нужны, потому что египтяне пользовались ночью водяными часами, то почему им было необходимо Солнце для счета времени днем? Разве не могли они с таким же успехом пользоваться водяными часами и днем?

5. Общее положение автора о том, что наука не развивается там, где это не вызывается практическими потребностями общества, совершенно правильно. Однако вряд ли можно согласиться с выводами А. Паннекука относительно Египта.

ГЛАВА 8

Глава о Китае основана главным образом на весьма устаревших источниках (не позднее 1939 г.). Теперь появилось много солидных исследований, значительно полнее освещающих историю развития китайской астрономии. Сюда прежде всего следует отнести многотомный труд Дж. Нидэма (J. Needham, Science and civilisation in China. With the research assistance of

Wang Ling, Cambridge, Univ. press, 1959, v. 3, pp. 877) и ряд статей того же автора. На русском языке также было напечатано несколько работ, в том числе книга П. А. Старцева «Очерки истории астрономии в Китае», Физматгиз, 1961 (156 стр.).

1. Теперь принята несколько иная датировка: Конфуций (551—479 гг. до н. э.), Мэн-цзы (372—289 гг. до н. э.).

2. Тао или Дао (различное произношение: Дао — южнокитайское, Тао — северокитайское) — понятие, взятое из древнего философско-религиозного учения Китая. Оно трактовало о «небесном пути», которому должен следовать человек в жизни.

3. Здесь автор применил неудачную терминологию, в настоящее время вышедшую из употребления. «Мандаринами» первые португальцы, побывавшие в Китае, назвали китайских чиновников. Слово «mandarim» или «mandarin» (диалект.) происходит от португальского глагола: «mandar» — приказывать, командовать, управлять, посылать.

4. «Ханьская династия» (205 г. до н. э.— 221 г. н. э.) в современной науке датируется несколько иначе (206 г. до н. э.— 220 г. н. э.).

5. Здесь автор вновь развивает свои излюбленные взгляды о благотворном воздействии нашествий варваров на развитие цивилизации. Выводы А. Паннекука относительно формирования цивилизации Китая не подтверждаются современной наукой. Роль монголов в развитии этой цивилизации была лишь разрушительной. Завоевав Китай, они растворились среди местного населения, приняв его культуру.

6. «Си» и «Хэ» — имена легендарных китайских астрономов, более широко известных в неточной европеизированной транскрипции как «Хи» и «Хо».

7. «Лунный дом» — более широко распространенный в китайской литературе термин, равнозначный «лунным станциям» и т. п. Термин происходит от китайского слова «сю», имеющего два значения: «останавливаться, ночевать» и «созвездие».

8. H. Maspero. L'astronomie chinoise avant les Han (T'oung Pao, XXVI, Paris, 1929), p. 288.

9. Караванные города — временные населенные пункты, возникавшие вблизи караванных путей и являвшиеся сезонными торговыми центрами.

10. См. 8, стр. 299.

11. См. 8, стр. 312.

12. Там же, стр. 336.

13. W. Eberhard and R. Henseling, Beiträge zur Astronomie der Han Zeit. Sitz. der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Phil.— Hist. Klasse, V, 1933 and XXIII, 1933.

14. См. 8, XXXVI, 1939 г., стр. 174.

ГЛАВА 9

Главы 9—14, посвященные Древней Греции, содержат обзор астрономических знаний на фоне общего развития науки. Основным лейтмотивом этих глав в оригинале является решение вопроса о том, почему греческая наука смогла достичь таких блестящих успехов и оказать решающее влияние на формирование современной науки.

А. Паннекук полагает, что основной причиной небывалого расцвета древнегреческой науки явилась относительно большая свобода граждан маленьких городов-государств Древней Греции от политического и главным образом религиозного гнета. К сожалению, яркая антирелигиозная направленность этих глав книги в английском переводе совершенно исчезла. В русском переводе восстановлен текст подлинника.

Определенный интерес представляют также главы, освещающие работу К. Птолемея. Они написаны в основном по оригинальным исследованиям А. Паннекука.

1. Илиада, XXII, строфы 26—31.

2. Одиссея, V, строфы 271—277.

3. T. B. Farrington, The Character of Early Greek Science. Proceedings of the R. Institut, XXXIII, part II, № 151, 1945, p. 291.

4. В следующих далее трех абзацах английский переводчик вставлял куски текста, изложенные А. Паннекуком ниже. Такая перепланировка оригинального текста применена, вероятно, для отвлечения внимания читателя от антирелигиозной направленности греческой науки, которую автор постоянно подчеркивает. В русском переводе сохранен порядок изложения оригинала.

5. В английском переводе дана цитата: «Солнце — новое каждый день» (A. Fairbanks, The First Philosopher of Grece, London, 1898, p. 33).

6. Указанный абзац был разорван и вставлен ниже по кусочкам. При этом английский переводчик допустил прямое искажение подлинника. Так, если А. Паннекук с гневом отвергает попытки некоторых авторов приписать Анаксимену представление о хрустальной сфере и звездах, прибитых к ней в виде гвоздей с позолоченными шляпками, то в английском переводе это мнение приписано Анаксимену без малейших колебаний. Несомненно, что это сделано для того, чтобы оправдать излюбленные церковные представления периода средневековья, которые атеист А. Паннекук решительно отвергал.

7. В английском переводе вставлено одно предложение и остальная часть абзаца изложена вольно. Смысл последнего предложения английский переводчик изменил так: «Таким образом, это сообщение следует, вероятно, отвергнуть, как сказку». При этом дана ссылка на работу О. Нейгебауэра (The Exact Sciences in Antiquity, Kobenhaven, 1951, p. 136).

8. Это предложение в английском переводе несколько изменено. После него вставлено еще одно предложение: «Главным содержанием трудов Сократа было развитие души индивидуума при помощи имеющих вечное значение истины, красоты и добра».

9. В английском переводе пересказ оригинала заменен цитатой: «Вон там украшения на небе... считаются, строго говоря, наиболее прекрасными и совершенными, чем что-либо другое из видимого; все же они значительно хуже тех, которые истинны..., истинные же объекты, которые познаются на основе разума, не видны...». Цитировано по кн.: Платон, Республика, VII, А — В, 529С — 530В.

10. В английском переводе цитата заменена пересказом. Цитата из произведения, указанного в 9.

11. В английском переводе дан пересказ. Plato, Epinomis, 990.

12. Simplitius, Commentary to De Coelo, II, 12.

13. Plato, Timaeus, 40, A.

14. В английском переводе после этого вставлено: «Как правильно заметил Т. Хит: „Попытка перевести детали поэтического образа в согласованную картину физических фактов безнадежна“» (T. L. Heath, Aristarchus of Samos, Oxford, 1913, p. 153). Далее, обосновывая причину этого, английский переводчик подчеркивает спиритуализм Платона.

15. Plato, Timaeus, 36, C.— D.

16. Там же, 38, C.— D.

17. Там же, 39, C.— D.

18. Plato, Epinomis, 987.

19. Plato, Timaeus, 40, B.— C.

20. Aristotle, De coelo, I, 2.

ГЛАВА 10

1. Geminus, Elementa astronomiae, cap. 8.

2. В голландском оригинале дано иное число: 29,515 дня.

3. «Парапегма» — «παρά - πηγμα» (греч.) — «перечень», «запись», «календарь». От глагола «παρα - πήγνυμι —втыкать, отмечать. Древнегреческие календари представляли собой каменные плиты с углублениями, в которые вставлялись палочки.

4. В английском переводе этот абзац заменен. Вместо изложения механизма движения внимание читателя акцентировано на «божественности» небесных тел. В русском переводе сохранен текст оригинала.

5. «Гиппопеде» — от греч. «ιππον» — «лошадь» и «πεδη» — «путы». В Древней Греции существовал такой способ выездки лошадей, когда они со связанными ногами описывали «восьмерки».

ГЛАВА 11

В английском переводе этой главы вставлено много дополнительных материалов о трудах Аристотеля и Платона, канонизированных церковью.

1. Далее вставка английского переводчика. Подчеркнуто «менее спиритуалистическое направление» философии Аристотеля, которое английский переводчик объясняет происхождением этого философа из страны с «более простым средним сословием».

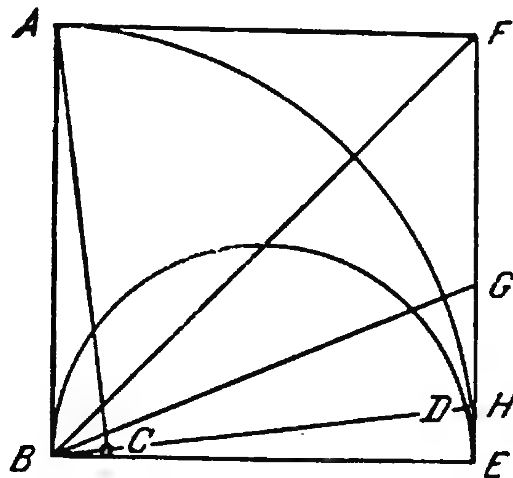


Рис. 77.

2. В английском переводе текст расширен. Приведена цитата, повторяющая изложенное в этом абзаце. Цитировано по: Aristotle, De coelo, I, 2.

3. Далее в английском переводе вставлен кусок о пятом элементе (приведенный А. Паннекуком ниже) и подстрочное примечание, где английский переводчик пытается защитить Аристотеля от обвинений в противоречивости взглядов.

4. В английском переводе вставлен целый абзац о взглядах Аристотеля на вынужденные и свободные движения.

5. В английском переводе это предложение заменено так: «Таким образом, и сами они (т. е. небесные тела) должны быть вечны, неизменны, божественны».

6. Далее в английском переводе вставлен текст, более пространно излагающий то, что уже было сказано.

7. Simplitius, Commentary to De coelo, II, 13.

8. Там же, II, 8. Затем в английском переводе вставлен большой абзац о Платоне. Порядок цитат 7 и 8 в английском переводе обратный.

9. Aetius Placita, III, 13, 3 (Diels, Doxigraphi Graeci, Berlin, 1879), p. 378.

10. В английском тексте здесь вставлено: «Аристарха Самосского впоследствии называли „математиком“, в отличие от не менее известного александрийского филолога — Аристарха Самофракийского».

11. T. L. Heath, Aristarchus of Samos. Oxford, 1913, pp. 352—354.

12. В голландском оригинале здесь дано подстрочное примечание, включенное в английском переводе как приложение А: «Наиболее важна седьмая теорема, которая дает самый существенный численный результат. Доказательство этой теоремы достаточно интересно для того, чтобы его здесь привести. Пусть на чертеже (рис. 77) Солнце находится в точке A, Земля — в B, а Луна (точно в квадратуре) — в C, т. е. $\angle EBD = \angle BAC = 3°$. Пусть BG — медиана, делящая пополам $\angle FBE = 45°$. По теореме о том, что отношение большого и малого отрезков касательной к кругу больше отношения лежащих под ними дуг и углов, получим, что $\frac{GE}{HE} > \frac{1}{4}d : \frac{1}{30}d$ (где d — прямой угол); следовательно, это отношение больше чем 15 : 2. Далее, по известной геометрической теореме $\frac{FG}{GE} = \frac{FB}{BE} = 2$, т. е. оно несколько больше $\frac{7}{5}$, тогда $\frac{FE}{GE} > \frac{12}{5}$. Принимая во внимание предыдущие неравенства, получим: $\frac{FE}{HE}\ \frac{15}{2} \times \frac{12}{5} = 18$ и $\frac{AB}{BC} = \frac{BH}{HE}$ несколько больше [чем $\frac{BE}{HE}$] и определенно больше, чем 18. С другой стороны, применив теорему о том, что отношение большого и малого отрезков хорд меньше отношения стягиваемых ими дуг, к линии DE, стягивающей на полуокружности BDE дугу в 6°, и к стороне правильного шестидесятиугольника, стягивающей дугу в 60° и равной половине медианы, находим, что $\frac{1}{2}\frac{BE}{DE} < 10$. Отсюда вытекает, что $\frac{AB}{BC} < 20$».

13. Подробно с сочинениями Архимеда можно познакомиться по русскому переводу И. Н. Веселовского «Архимед. Сочинения», Физматгиз, 1962.

14. См. 11, а также: Heath, Greek Astronomy, London, 1932, p. 106.

15. В английском переводе сюда вставлено предложение о Селевке, данное А. Паннекуком ниже, в гл. 12.

ГЛАВА 12

1. Ptolemy, Mathematikê Syntaxis, III, 1 (Hei. I, 206—207; Man. I, 145) and VII, 2 (Hei. II, 12; Man. II, 12). «Hei» — страницы по изданию J. L. Heiberg (1898, 1903); «Man» — страницы: K. Manitius, Ptolemaeus Handbuch der Astronomie, 1912—1913.

2. В английском переводе вставлена цитата из Птолемея (цит. соч., III, 1).

3. Ptolemy, см. 1, VII, 2 (Heiberg, II, 12; Manitius, II, 12).

4. Ptolemy, VII, 2 (Heiberg, II, 15—16; Manitius, II, 15).

5. Manitius, там же, I приложение, стр. 440—441.

6. А. Паннекук здесь наглядно показывает, что появление астрологии было свидетельством начинающегося упадка эллинистической науки и культуры. Отмечается, что астрология, как один из видов религиозного мировоззрения, всегда получала распространение там, где жизненные условия ухудшались. Она была постоянным спутником общественного разложения, войн и неуверенности в завтрашнем дне.

7. В английском переводе далее вставлен следующий текст: «Крушение великих эллинистических монархий под давлением Рима и падение процветавших греческих городов, находившихся под господством римлян, опустошительные войны, беспрерывные жестокие и кровавые социальные революции, всеобщее обнищание и растущий гнет, тяготивший на эллинистическом Востоке одинаково как богатых, так и бедных» — так характеризует историк М. И. Ростовцев (Mystik Italy, New York, 1927, p. 8) те условия, которые привели к быстрому упадку науки и образования в I в. до н. э.

В английском переводе последние фразы абзаца также несколько изменены. Во-первых, в голландском оригинале говорится о господстве астрологии на Востоке, а не в античном мире вообще, как это сказано в переводе. Кроме того, английский переводчик вставил несколько слов о влиянии астрологии на возникновение грубых суеверий в массах, а затем и среди ученых.

8. На примере астрологии дана хорошая иллюстрация приспособления религиозных воззрений к изменяющимся жизненным условиям.

9. Эти утверждения А. Паннекука нельзя признать правильными. Несомненно, что он сильно преувеличил роль астрологии в повышении практической значимости астрономических данных. А. Паннекук сам достаточно убедительно показал выше, что появление астрологии свидетельствует о загнивании общества и о деградации его науки и культуры. Вместе с тем в этой фразе звучит искренняя тоска астронома о том времени, когда его наука могла бы находиться «в гуще жизни», а не быть «отвлеченным занятием» (каким она, по его мнению, стала в XX в.). Увлекшись этой идеей, он притягивает для ее подтверждения не очень-то убедительные доказательства. (Точно то же он сделал и в главе о Египте!)

ГЛАВА 13

1. P. Tannery, Recherches sur l'histoire de l'astronomie, Paris, 1893, p. 128.

2. Plutarch, De facie in orbe lunae, cap. VI, 34.

3. В голландском оригинале здесь дано подстрочное примечание, включенное в английском переводе как «приложение Б»: «Ввиду важности этого положения, мы приведем здесь его доказательство. Весь эпицикл с центром и планетой на его окружности в точке *1* рис. 78 вращается влево вокруг Земли, и поэтому планета переместится в точку *2*, на расстояние, равное угловой скорости этого обращения, умноженной на расстояние Земля — планета. Одновременно планета сдвинется по эпициклу вправо, из точки *1* в точку *3*, на расстояние, равное угловой скорости на эпицикле, умноженной на расстояние центр — планета. Этот отрезочек при наблюдении с Земли представляется укороченным и, как видно из чертежа, точно в том же отношении, в котором находится расстояние планета — точка основания перпендикуляра (опущенного из центра эпицикла на линию Земля — планета) к расстоянию планета — центр. Если с Земли планета кажется неподвижно стоящей, то в этом случае смещения вправо и влево должны точно компенсироваться. Таким образом, расстояния Земля — планета и планета — точка основания перпендикуляра должны быть обратно пропорциональны отношению их угловых скоростей. Или, иначе говоря, расстояние Земля — планета и половина хорды, стягивающей дугу эпицикла, должны находиться в таком же отношении, как период обращения и синодический период планеты».

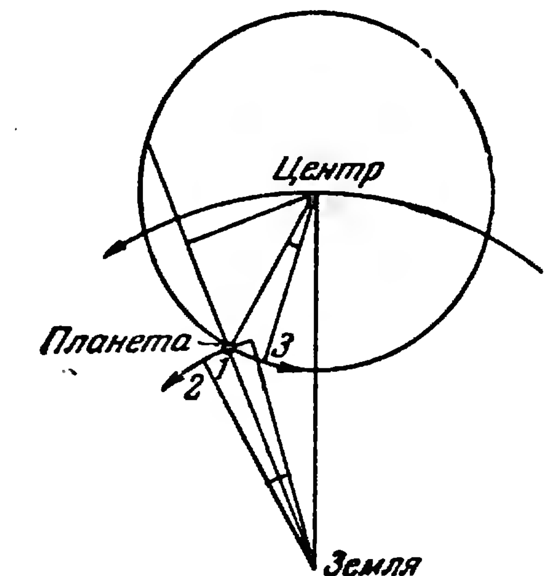


Рис. 78.

4. Ptolemy, там же, IX, 2 (Heiberg, II, 211; Manitius, II, 97).

5. Ptolemy, там же, IX, 5 (Heiberg, II, 251—252; Manitius, II, 120—121).

6. Ptolemy, там же, X, 6 (Heiberg, II, 317; Manitius, II, 172—176). Цитата вставлена в английском переводе.

7. Ptolemy, там же, X, 8 (Heiberg, II, 347—348; Manitius, II, 195—196).

8. Ptolemy, там же, XIII, 2 (Heiberg, II, 532—533; Manitius, II, 333—334).

ГЛАВА 14

1. Плутарх, Сравнительные жизнеописания, изд. АН СССР, 1962.

2. На русском языке существует перевод Г. А. Иванова.

3. Этот текст в английском переводе расширен. Вставлена цитата из Светония: «Тогда, обратив внимание на реорганизацию государства, он (Ю. Цезарь) реформировал календарь, который длительная небрежность жрецов привела в такой беспорядок из-за их привилегии добавлять месяцы или дни по своему желанию, что ни праздник сбора урожая не приходился на лето, ни праздник сбора винограда — на осень (следовательно, испытывался недостаток в предметах для жертвоприношений). И он привел год в соответствие с движением Солнца, сделав его состоящим из 365 дней, исключив вставной месяц и добавляя один день в каждый четвертый год» (Suetonius, De vita Caesarum, I, 40).

4. В английском переводе цитата расширена. Ptolemy, там же, I, 7 (Heiberg, I, 24—26; Manitius, I, 19—20).

5. Там же, III, 4 (Heiberg, I, 233—234; Manitius, I, 167).

6. Там же, III, 1 (Heiberg, I, 205; Manitius, I, 143).

7. Там же, VII, 2 (Heiberg, II, 13; Manitius, II, 13).

8. J. B. J. Delambre, Histoire de l'astronomie ancienne, Paris, 1817, Discours préliminaire, XXV, XXXIV.

9. В английском переводе это подстрочное примечание перенесено в текст и расширено.

10. Ptolemy, там же, V, 12 (Heiberg, I, 408; Manitius, I, 299).

11. Там же, V, 14 (Heiberg, I, 421; Manitius, I, 309—310).

12. В английском переводе вставлен кусок текста, в оригинале встречающийся ниже. В русском переводе восстановлен порядок изложения оригинала.

13. Kugler, Sternkunde und Sterndienst in Babel, III, 1913, Ergänzungen, S. 7.

14. А. Паннекук цитировал текст в переводе J. von Wageningen'а.

15. Ptolemy, там же, VIII, 3 (Heiberg, II, 180—182; Manitius, II, 72—74).

16. В английском переводе слово «представлялась» заменено на «были». Такой оттенок меняет смысл предложения, вложенный А. Паннекуком. Если для автора отношения древних греков к геометрии как к «чуду» человеческого ума, несомненно, является их субъективным восприятием, то в английском переводе геометрия безапелляционно объявлена реально стоящей за пределами материального мира.

17. А. Паннекук, на наш взгляд, преуменьшает здесь практическую значимость геометрии.

18. В английском переводе цитирован эпиграф Птолемея: «Изучая извилистые орбиты звезд, я не касался стопами Земли и, восседая за столом самого Зевса, вкушал небесную амброзию».

19. Ptolemy, Tetrabiblos, I, 2. В английском переводе цитата расширена.

20. В английском переводе этот абзац изменен. Расширено и детализировано изложение астрологической части. В русском переводе восстановлен голландский оригинал.

ГЛАВА 15

1. В арабской транскрипции его имя звучало так: Мухаммед ибн Муса ал-Хуваризми, что означало: «Мухаммед сын Мусы из Хорезма».

2. «Черный локоть» — мера длины у арабов. Один такой локоть содержит 6 «ладоней».

3. Al Battani, Opus astronomicum (Publ. d. R. Oss. Brera, Milano), v. XL, cap. I, 5.

4. «Суфи» (арабск.) — буквально «одетый в шерсть». Так назывались у арабов странствующие монахи (дервиши).
5. О нем подробнее см.: Г. Д. Мамедбейли, Основатель Марагинской обсерватории Насирэддин Туси. Баку, 1961.
6. Основным инструментом Самаркандской обсерватории был секстант радиусом в 40 *м*.
7. Это заключение автора противоречит его же собственным утверждениям о важном значении арабской науки. В настоящее время вышли из печати и продолжают выходить все новые и новые исследования, вскрывающие самобытность ученых, писавших на арабском языке (в том числе и уроженцев Средней Азии). Кроме того, выясняется, что работы этих ученых оказывали определенное влияние на дальнейшее развитие науки.

ГЛАВА 16

1. H. Pirenne, Mahomet et Charlemagne, Paris, 1937, p. 25 (Engl. ed. George Allen and Unwin., London, 1939).
2. Герберт (род. ок. 940—945 гг.— ум. 1003 г.). Выходец из простого народа, он стал монахом, в монастыре изучил математику и философию. С 999 г. стал папой.
3. Die astronomischen Tafeln des Mohammed Ibn Musa al Khwarizmi, ed. H. Suter (Memoirres de l'Académie, Copenhagen, 1914, p. 17).
4. Существует несколько возможных объяснений названия Бетельгейзе:
а) «бад ал-джавза'» — «рука великана» (так арабы называли Ориона, а иногда — Близнецы),
б) «бат ал-джавза'» — «подмышка» или «плечо великана»,
в) «байт ал-джавза'» — «дом великана».
Некоторые авторы, например Зутер (в Энциклопедии ислама), переводят слово «джавза'» как «пестрая овца».
5. «ра' с ал-гул» — буквально — «голова демона пустыни».
6. Альберт фон Больстедт (более хорошо известный как Альберт Магнус) — монах-доминиканец, занимался физикой, философией, математикой. Учитель Фомы Аквинского.
7. В английском переводе вместо Антильских островов стоит Вест-Индия.
8. «Пургатори» (ит.). — «чистилище».
9. Здесь А. Паннекук еще раз подчеркнул общность астрологических представлений с религиозными.

ГЛАВА 17

1. В английском переводе слово «буржуазия» заменено расплывчатым выражением «средний класс».
2. В английском переводе предложение несколько изменено. Подчеркнуто, что эти финансовые дома начали свою деятельность в XV в. (как известно, они достигли расцвета в XVI в.). Несколько смягчен и тон фразы. Финансовые магнаты из «вершителей мировой политики» (оригинал) стали только «Важной силой в мировой политике» (английский перевод).
3. «Кенигсберг» (нем.) или «Монте Регио» (лат.) означает «Королевская гора».
4. В английском переводе изменено, дана ссылка на Хантингтона. В русском переводе сохранен голландский оригинал.
5. «regimiento» — (исп.) — «руководство».
6. В английском переводе этот отрывок изменен. Отчасти и в смягченном виде он оказался в предыдущей, 16 главе.
7. В английском переводе вставка: «Региомонтан написал книгу по медицинской астрологии, содержавшую подобные же инструкции».

8. A. von Humboldt, Kosmos (Stuttgart, 1850), III, Cap. VII, 360, замечание 44.
9. W. E. Peuckert, Nikolaus Kopernikus, Leipzig, n. d., p. 33.

ГЛАВА 18

1. Вставлено в английском переводе. Далее в голландском оригинале следовал абзац, сохраненный и в английском переводе. Там А. Паннекук писал о происхождении Н. Коперника из среды немецких колонистов, якобы селившихся в Польше с XIV в. В рецензиях на английский перевод книги А. Паннекука (см. рецензию Иржи Добржицкого) это утверждение, а также заявление о том, что немецкие колонисты основали ряд городов (Данциг, Торн, Краков), были признаны грубо ошибочными и основанными на непроверенных источниках. В связи со столь резким и аргументированным возражением польских рецензентов этот абзац текста в русском переводе опущен.
2. В голландском оригинале и английском переводе — Фрауэнбург.
3. В голландском оригинале для времени написания «Малого Комментария» указан 1507 г. По-видимому, А. Паннекук основывался на исследованиях Биркенмайера. В английском переводе приведена иная дата: около 1512 г. Однако по последним данным более правильным считается дата около 1515 г. (См.: Николай Коперник, О вращениях небесных сфер, М., «Наука», 1964, стр. 637—638).
4. «Гризонс» (фр.) по-латински «Реция».
5. В английском переводе здесь дано подстрочное примечание: «Обращения означают здесь круговые движения».
6. Н. Коперник, О вращениях небесных сфер, стр. 35.
7. В английском переводе опущено и заменено противоположными рассуждениями о недостатках системы Коперника — существовании в ней неопределенностей.
8. В английском переводе этот отрывок перефразирован. Замечание о независимости ума Коперника и смелости его мышления опущено.
9. Н. Коперник, там же, кн. V, гл. 2, стр. 306. В английском переводе цитата продлена.
10. См.: Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, № 366, X, 68.
11. Н. Коперник, там же, кн. V, гл. 16, стр. 340. В английском переводе ошибочно указана 15 глава, цитата дана неточно.
12. Н. Коперник, там же, кн. V, гл. 30, стр. 362—363.
13. Там же, кн. VI, гл. 1, стр. 389. В английском переводе цитата увеличена.
14. Н. Коперник, там же, кн. III, гл. 25, стр. 220—221.

ГЛАВА 19

1. Die astronomischen Tafeln des Al Khwarizmi, p. XXIII.

ГЛАВА 20

1. Мнение А. Паннекука о том, что астрология представляла собой начальный период развития астрономии, нельзя признать правильным, тем более, что и сам автор в предшествующих главах убедительно это доказал.
2. Стоящее в квадратных скобках предложение в английском переводе опущено и заменено пространной (почти в две страницы печатного текста) цитатой из лекции Тихо Браге по астрологии (Tychonis Brahei Dani, Opera omnia, I, pp. 153, 156). Такое изменение оригинального текста в корне меняет трактовку А. Паннекука, который в опущенном английским перевод-

чиком отрывке как раз подчеркивает, что Тихо Браге из своих астрологических увлечений воспринял лишь основной принцип всеобщей взаимосвязи.
3. Tychonis Brahei Dani, Opera omnia, II, p. 16.

ГЛАВА 22

1. См.: L. Prowe, Nicolaus Coppernicus, Berlin, 1883, Book I, v. II, p. 232.
2. P. Melanchton, Doctrinae physicae elementa, Basel, 1550, Liber I, p. 56. Как выяснено в настоящее время, отношение Ф. Меланхтона к Н. Копернику и его учению было значительно более сложным. Хотя Ф. Меланхтон как представитель церкви и выступал публично против гелиоцентрического учения, он высоко ценил гений Коперника и понимал значение его теории для составления астрономических таблиц. Именно поэтому Меланхтон содействовал опубликованию «De Revolutionibus» и убедил Э. Рейнгольца составить астрономические таблицы на основе теории Коперника. (См.: K. Müller, Ph. Melanchton und das kopernikanische Weltsystem, «Centaurus», 1963, 9, № 1. SS 16—28.)
3. В английском переводе эта часть текста подверглась значительной переработке. Во-первых, вставлен большой отрывок о механике Аристотеля. Затем идет фраза, с которой начат этот отрывок в подлиннике: «Число приверженцев гелиоцентрической системы в XVI в. было...». Конец предложения изменен: вместо «невелико» в английском переводе — «ничтожно». Далее, вместо упоминания о Джордано Бруно, наиболее активном защитнике гелиоцентрической системы, как это было в голландском оригинале, в английском переводе вставлено пространное изложение мнений об учении Коперника схоластов-клириков Меланхтона, Клавия и др., высоко ценивших таблицы Коперника за их согласие с наблюдениями, но объявлявших абсурдной его теорию. Первым среди сторонников гелиоцентрического учения в английском переводе назван отсутствующий в оригинале Томас Диггс, «англичанин, который в книге 1576 года говорил о бесконечном мире, наполненном главным образом невидимыми звездами». И, наконец, появляется упоминание о Джордано Бруно, который в окружении подобного контекста выглядит сумасшедшим фанатиком, а не пламенным борцом, как это было в оригинале. И казнь его в английском переводе воспринимается как более или менее правильная мера, способная оградить умы людей того времени от «запугивания» этим «еретиком». Далее, в английском переводе фигурируют те же лица, что и в оригинале, с тем исключением, что Михаил Местлин, которого А. Паннекук называет «убежденным коперниканцем», в английском переводе оказался «хорошо к ней относящимся, но не склонным поддерживать ее целиком». Кроме того, вставлена отсутствующая в оригинале цитата из письма Ротмана к Тихо Браге от 18.IV 1590 г., в которой изложение Коперника объявлено «очень темным» и высказано предположение о достаточности суточного и годичного движений для объяснения наблюдаемых явлений.
4. Здесь в английском переводе вместо изложения цитировано само письмо Галилея от 4.VIII 1597 г. (Opere di Galilei, «Ediz. Nationale», X, p. 68.)
5. Там же, X, p. 69—70.
6. В английском переводе далее вставлен большой отрывок из письма «младшего коллеги» Клавия, патера Гринбергера, к Галилею (январь 1611 г.) о том, что аргументы Галилея вряд ли убедили его; цит. по тому же изданию (см. прим. 5), XI, стр. 33.
7. F. Plassmann, Himmelskunde, Münster, 1898, p. 605.

ГЛАВА 23

1. J. Kepler, Neue Astronomie, trans. Max Caspar, München, 1929.
2. Там же, гл. 16, стр. 147.
3. Там же, гл. 18, стр. 159.

4. Там же, гл. 19, стр. 163.
5. Там же, гл. 19, стр. 166.
6. Там же, гл. 40, стр. 246.
7. Там же, гл. 44, стр. 267.
8. В английском переводе здесь пересказ заменен цитатой из Кеплера: «Это было так, как будто бы я проснулся и увидел новый свет» (см. 2., гл. 56, стр. 325).
9. J. Kepler, Opera omnia, ed. Frisch, Frankfurt, 1853—1871, VI, pp. 13—14.
10. J. Kepler, Opera omnia, V, p. 269.

ГЛАВА 24

1. Этот абзац в английском переводе заменен. Приведенная в голландском оригинале цитата опущена.
2. R. Descartes, Principia philosophiae, Amsterdam, 1685, III, p. 4.
3. Характерное изменение оригинального текста в английском переводе. Вместо слов «опасное для жизни столкновение с церковью» в английском переводе стоит: «Не желая, чтобы церковь прервала его философские занятия». В русском переводе сохранен текст голландского оригинала.
4. J. S. Bailly, Histoire de l'astronomie moderne, II, Paris, 1779, p. 179.
5. Lettres de M. Auzout sur les grandes lunettes, Paris, 1735, pp. 57—58.
6. В голландском оригинале дана ссылка на драму Лангедийка «Математическое искусство».
7. Weld, History of the Royal Society, I, London, 1848, p. 46.
8. Там же, II, p. 465.
9. В английском переводе здесь вставлено упоминание об участии Оле Рёмера в раскопках обсерватории Тихо Браге, которое приведено А. Паннекуком в голландском издании в другом месте.

ГЛАВА 25

1. Christian Huygens, Systema Saturnium, Oeuvres Complètes, XV, p. 299.
2. Там же, гл. XV, стр. 15.
3. В английском переводе перенесено в предшествующую главу.
4. В английском переводе цитата расширена. Цитировано по: Christian Huygens, Cosmotheoros, XXI, p. 706.
5. Fontenelle, Entretiens sur la pluralité des mondes, 2-e soir, ed. Dijon, an 2, p. 66.

ГЛАВА 26

1. J. Kepler — Max Caspar, Neue Astronomie, München, 1929, p. 26.
2. Там же, стр. 28.
3. I. Newton, Mathematical Principles, trans. F. Cajori, Berkeley, 1934, p. 397.
4. Там же, стр. XVIII.
5. И. Ньютон, Математические начала натуральной философии, III кн. В русском переводе А. Н. Крылова см.: Известия Николаевской Морской академии, вып. V, Пг., 1916, стр. 172.
6. Известия Николаевской Морской академии, вып. IV, Пг., 1915, стр. 2.
7. Там же, стр. 36, 37, 38.
8. Там же, стр. 22, 23, 27, 28.

9. Там же, стр. 29.
10. Там же, стр. 26.
11. Там же, стр. 26—27.
12. Там же, стр. 66.
13 В английском переводе дана ссылка на приложение С: ньютоново доказательство закона площадей.

В своем Предложении I Ньютон вывел кеплеров закон площадей из предположения, что вращающееся тело находится под действием центростремительной силы, направленной к фиксированной точке. Для доказательства он использовал равные конечные интервалы времени, после каждого из которых сила дает телу конечный импульс в направлении к центру S. В течение одного интервала от A до B движение остается неизменным; затем в B оно внезапно получает дополнительный импульс BV. В течение второго интервала, вместо непрерывного движения вдоль $Bc = AB$, тело описывает результирующую линию BC. Так как геометрически площади SAB и SBc равны, а импульс BV направлен к S, то и площади SBc и SBC равны, площадь SBC равна площади SAB. Это справедливо и для любого другого интервала; площадь каждого следующего треугольника равна площади предшествующего. Таким образом, площади всех треугольников, описанных в равные интервалы времени, равны, и все они лежат в одной плоскости. Это справедливо также и тогда, когда интервалы времени берутся все меньшие, а число их возрастает в том же самом отношении. Затем, окончательно, мы имеем неизменно действующую силу и криволинейную орбиту, для которой используются описанные площади, пропорциональные времени.

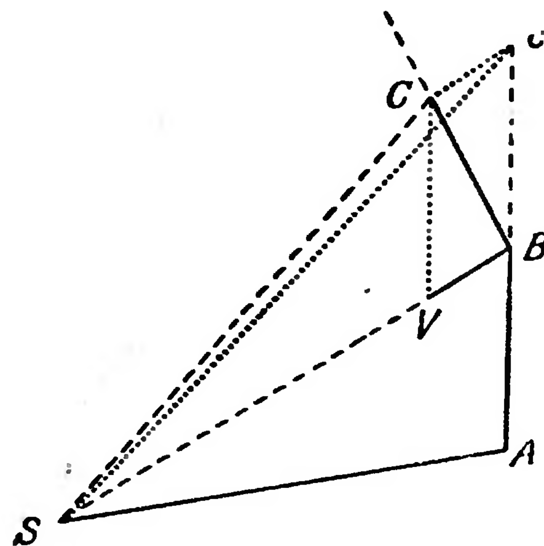


Рис. 79.

14. См. 6, стр. 69.
15. Там же, стр. 70.
16. В английском тексте здесь дана ссылка на приложение D: ньютонов вывод силы тяготения.

В Предложении XI (см. 6, стр. 84—86) для случая эллиптической орбиты Ньютон выводит центростремительную силу из законов Кеплера. На чертеже орбиты, где линии указаны маленькими буквами, планета — P, а Солнце находится в фокусе S. Небольшое отклонение движения планеты от касательной к фокусу обозначено e, само движение — s. Отклонение пропорционально силе и квадрату времени: так, сила находится делением отклонения e на квадрат интервала времени. Благодаря закону площадей интервал времени можно заменить площадью, описанной радиусом-вектором. Взяв интервал времени и движение s достаточно малыми, можно воспользоваться треугольником SPQ. Ньютон выводит, что $PE = a$, большой полуоси.

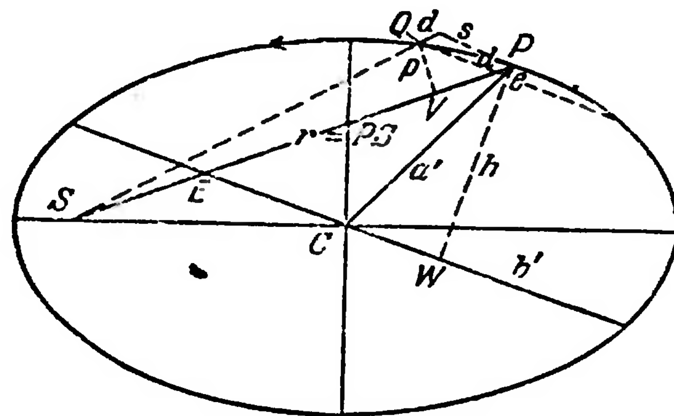


Рис. 80.

Опустив перпендикуляр p из Q на радиус-вектор и перпендикуляр h из P на b' ($2a'$ и $2b'$ — сопряженные диаметры), мы получим площадь $SPQ = {}^1/_2\, rP$; из-за подобия треугольников PQV и PEW мы имеем: $p : h = s : a$; или: $p = h \times \frac{s}{a}$; $h = ab : b'$; следовательно, для площади мы находим ${}^1/_2 rs\ (b : b')$.

Отклонение e относится к малому расстоянию d на диаметре $ed : e = a' : a$. Для расстояния e мы имеем, полагая, что проекция эллипса есть круг, отношение $e \times 2a' : s^2 = a'^2 : b'^2$, так что $e = \frac{1}{2}\frac{a'}{b'^2}s^2$; $d = \frac{1}{2}\, as^2 : b'^2$; тогда сила будет

$$\frac{1}{2}\frac{as^2}{b'^2} : \frac{1}{4}\, r^2s^2\frac{b^2}{b'^2} = \frac{2a}{b^2r^2}\ .$$

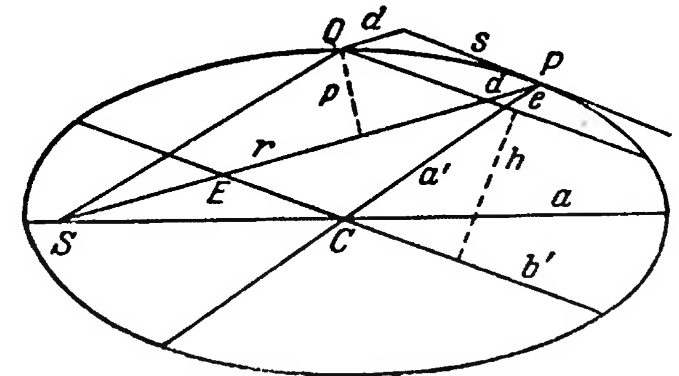


Рис. 81.

Здесь все величины, зависящие от положения планеты на ее орбите, исчезли. Так, для всех точек эллипса сила обратно пропорциональна квадрату расстояния от Солнца.

17. См. 5, стр. 458—459.
18. Правила цитированы по русскому переводу А. Н. Крылова (там же, стр. 449, 450). В английском переводе далее приведена еще одна малоинтересная цитата, опущенная в русском переводе.
19. Christian H u y g e n s, Traité de la lumière et Discours de la cause de la pesanteur, ed. Burckhardt, Leipzig, 1885, pp. 112—113.
20. И. Н ь ю т о н, цит. по переводу А. Н. Крылова, стр. 474.
21. Там же, стр. 475.
22. L. T. M o r e. Isaak Newton, a Biography, New York, 1934, pp. 446—450.
23. И. Н ь ю т о н, там же, стр. 446.
24. Там же, стр. 447.
25. H u y g e n s, там же, стр. 118.
26. Там же, стр. 121. Этот и следующий абзацы в английском переводе переставлены. В русском переводе сохранен голландский оригинал.
27. Chr. H u y g e n s, Oeuvres complétés, IX, Lettres, 2628, p. 523.
28. См. 25, стр. 119.
29. I. N e w t o n, Opera, 1779—1785, IV, p. 394.
30. Там же, стр. 430—432.
31. Там же, стр. 438.
32. Там же, стр. 591—592.
33. Там же, стр. 592.

ГЛАВА 27

1. В английском переводе вставлено объяснение понятия нулевого меридиана: «В XVII и XVIII вв. нулевым меридианом считался Парижский, что было признанием экономического и политического положения Франции, а также ее мореходных таблиц. Позднее, когда на море стала господствовать Англия, возросла роль Гринвичской обсерватории».
2. R. G r a n t, History of Physical Astronomy, London, 1852, p. 460.
3. В голландском оригинале было не 50°, а 45°. В русском переводе сохранена поправка английского перевода.

4. E. Halley, Philosophical Transactions, XXX, 1728, p. 737.
5. Этот абзац в английском переводе переставлен — он идет после следующего за ним. В русском переводе сохранен оригинал.

ГЛАВА 28

1. Французская экспедиция на мыс Доброй Надежды, руководимая Н. Лакайлем, продолжалась с 1750 по 1754 г. У А. Паннекука написано, что экспедиция отправилась в 1751 г. (!) и продолжалась 10 лет (!). Первая ошибка в английском переводе не исправлена, вторая — устранена.
2. К сожалению, А. Паннекук не сообщает о русских экспедициях: Н. И. Попова в Иркутск и С. Я. Румовского в Селенгинск. Результаты первой из них остались неопубликованными, второй — опубликованы.
3. В 1769 г. в России были организованы следующие экспедиции: Ислениев — Якутск; X. Эйлер — Орск; Крафт — Оренбург; Малле — Поной; Ловитц и Иноходцев — Гурьев; Румовский и Охтенский — Кола; X. Майер, И.-А. Эйлер и Стааль — С.-Петербург.

ГЛАВА 29

1. Delambre, Histoire de l'astronomie au 18ᵉ siècle, Paris, 1827, p. 420.
2. Это место в английском переводе смягчено: отмечено просто, что наследники увезли имущество Флемстида.
3. L. Thorndike, A short history of civilization, New York, 1933, p. 476.
4. L. T. More, Isaak Newton, a Biography, New York, 1934, p. 75. В английском переводе вставлена маловыразительная цитата из письма Ньютона Королевскому обществу от 6 февраля 1672 г.
5. Цит. по: L. T. More, стр. 68.
6. Такая фраза может ввести в заблуждение читателя, незнакомого с существом дела. Л. Эйлер не просто «выражал сомнения», а написал ряд обширных сочинений по этому поводу, создав теорию ахроматических оптических систем.
7. В английском переводе здесь вставлено подстрочное примечание: «Оказалось, что на много лет раньше, в 1733 г., ахроматический телескоп был сконструирован Честером Мор Хэллом из Эссекса, который, однако, не сообщил о своем изобретении. Патент на изготовление и продажу ахроматических телескопов был выдан Доллонду, так как правильно замечено: «Не тот должен получать выгоду от изобретения, кто прячет его в своем исследовании, а тот, кто приносит его на пользу общества» (R. Grant, History of Physical Astronomy, London, 1852, p. 533).

ГЛАВА 30

1. Voltaire, Lettres sur les Anglais, Oeuvres de Voltaire, 1819, XXIV, p. 67.
2. F. F. Tisserand, Traité de Mécanique Céleste, III, Paris, 1894, p. 64.
3. Там же, III, стр. 76.
4. Exposition du système du Monde (Oeuvre de Laplace, VI, 1842), IV, ch. 2, p. 228.
5. Mécanique céleste (Oeuvres de Laplace, V), p. 324.
6. History of Physical Astronomy, London, 1852, p. 60.
7. Clairaut, Théorie du mouvement des comètes, Paris, 1760, p. 11.
8. Там же, стр. IV.
9. В английском переводе это и следующее предложения переставлены.
10. R. Grant, там же, p. 61.
11. Exposition du système du Monde, IV, ch. 5, p. 264.

ГЛАВА 31

1. Kugler, III, Ergänzungen, 1919—1935, p. 352.
2. W. Herschel, Account of a comet, Philosophical Transactions, LXXI, 1781, p. 492.
3. W. Herschel, Scientific Papers, I, p. 91.
4. Там же, стр. 92.
5. Там же, стр. 90.
6. Там же, стр. 158.
7. Там же, стр. 223.
8. Там же, стр. 245.
9. Constance Lubbock, The Herschel Chronicle, Cambridge, 1933, p. 197. В английском переводе цитата продолжена: «При таких обстоятельствах естественным было определенное нежелание проявлять одобрение к теориям Гершеля, которые, как казалось (?), расходились с общепринятой интерпретацией библейского рассказа о сотворении мира».
10. См. 3, стр. 424.
11. Там же, стр. 422.
12. W. Herschel. Scientific Papers, II, p. 213.
13. Там же, стр. 487.
14. Там же, стр. 533.

ГЛАВА 32

1. J. S. Bailly, Histoire de l'astronomie moderne, III, Paris, 1785, p. 60.
2. Здесь А. Паннекук, до сих пор правильно освещавший соотношение теории и практики в астрономии, впадает в ошибку. Интерес к науке и покровительство со стороны правительств различных стран и отдельных меценатов объяснялись как раз прежде всего и главным образом теми практическими результатами, которых можно было достигнуть с ее помощью.
3. В английском переводе здесь вставка о том, что Гарвардская обсерватория была основана гражданами Бостона в 1844 г. В оригинале эта фраза встречается позднее.
4. F. W. Bessel, Ueber die Verbindung der astronomischen Beobachtungen mit der Astronomie, Populäre Vorlesungen, Hamburg, 1848, p. 432.
5. J. C. Kaptevn, On the Motion of the Faint Stars and the Systematic Errors of the Boss Fundamental System, «Bulletin of the Astr. Instr. of the Netherlands», № 14, I. 1922, p. 71.
6. J. Fraunhofer, Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreungsvermögens, etc., «Denkschr. der Akademie München». 1814—1815, Bd. V, p. 193; Ostwald's Klassiker der exacten Wissenschaften, № 150, Leipzig, 1905, p. 1.
7. «Шлира» — дефект в стекле. От немецкого «Schlieren» — «жилки», «пузырьки в стекле».
8. Fraunhofer, там же, p. 206; или Ostwald, p. 15.
9. В России первые фотографии звездного неба были получены А. А. Белопольским в 1881 г. на короткофокусной камере в Москве.

ГЛАВА 33

1. В настоящее время принято иное значение а. е.
2. Одна немецкая миля равна 7,5 *км*.
3. В английском переводе цитата несколько расширена. Цит. по: J. F. W. Herschel, Prezident's Report, 1840, MN, V, p. 97.

ГЛАВА 34

1. Интересно отметить важность, по существу, историко-астрономического исследования Боде, которое дало возможность использовать закон Тициуса — Боде.
2. В середине XX в. центрами по вычислению орбит малых планет стали Ленинградский институт теоретической астрономии и обсерватория в Цинциннати (США).
3. В английском переводе цитата заменена пересказом. Цитировано по: F. Kaiser, De Geschiedenis der Ontdekkingen van Planeten, Amsterdam, 1851, p. 139.
4. Там же.
5. S. Newcomb, Reminiscences of an Astronomer, London, New York, 1903, p. 221.
6. В английском переводе цитата расширена. Цитировано по: F. F. Tisserand, Traité de mécanique céleste, III, Paris, 1894, p. 424.
7. S. C. Chandler, On the Variation of Latitude, «Astronomical Journal», XI, 1891, p. 59.
8. В английском переводе вставка об изобретении радио. Изобретателем радио назван Маркони. Об А. С. Попове не упомянуто.

ГЛАВА 35

1. Тем не менее, М. В. Ломоносов, наблюдая прохождение Венеры по диску Солнца в 1761 г., открыл наличие на этой планете мощной атмосферы.
2. К выводу о наличии у Луны незначительной атмосферы пришел Л. Эйлер (1748 г.). Над этим вопросом работали в XVIII в. Т. Майер, И.-А. Эйлер и другие.
3. В английском переводе последнее предложение изменено. Лунный ландшафт представлен как мертвый мир, тогда как в голландском подлиннике он «только что создан тектоническими силами».
4. У В. Деларю учились пионеры русской астрофизики Е. Е. Саблер и М. М. Гусев, организовавшие первые в России фотогелиографические наблюдения.
5. W. H. Pickering, Erathostenes II, Popular Astronomie, XXIX, 1924, pp. 404—423.
6. W. Beer und Mädler, Beiträge zur physischen Kenntniss der himmlischen Körper im Sonnensystem, Weimar, 1841, p. 111; и Astronomische Nachrichten, VIII, 1830, p. 148.
7. Эта цитата в английском переводе перенесена в конец абзаца. Цит. по: C. Flammarion, La planète Mars et ses conditions d'habitabilité, Paris, 1892, p. 591.
8. Там же, стр. 592.
9. К сожалению, не упомянут советский ученый Г. А. Тихов, получивший первые фотографии каналов Марса в 1909 г. на пулковском рефракторе.
10. Около 1896 г. русские ученые Ф. А. Бредихин и Н. Е. Жуковский совместно разрабатывали вопрос об определении скорости вращения Юпитера по скорости вращения его облаков.
11. Как было недавно установлено, Красное пятно наблюдалось Кассини еще в XVII в. (см.: G. Ruggieri, La rappresentazione di Giove nel quadro settecentesco «Osservazioni astronomiche» e le scoperta della macchia rosa da parte del Cassini, «Coelum», 1957, 25, № 5—6, pp. 67—71).
12. Над этой проблемой успешно работала и С. В. Ковалевская («Дополнения и замечания к исследованию Лапласа о форме кольца Сатурна», 1885 г.).
13. Это так называемое «креповое кольцо».

14. В России астроспектроскопические исследования были начаты Ф. А. Бредихиным в 1872—1874 гг. и продолжены А. А. Белопольским.
15. К сожалению, о работах Г. А. Тихова, основоположника современной астробиологии, ни в оригинале, ни в английском переводе не упомянуто.
16. Аналогичные взгляды на основе теоретических представлений в 80-е гг. XIX в. развивал известный ученый-шлиссельбуржец Н. А. Морозов (опубликовано в 1907).

ГЛАВА 36

1. К сожалению, А. Паннекук при изложении этих вопросов не упоминает о работах русских ученых Н. Е. Жуковского, Ф. А. Бредихина, А. А. Белопольского и особенно А. М. Ляпунова.
2. J. H. Jeans, The Univers Around us, Cambridge, 1929, p. 332.
3. A. S. Eddington, The Nature of the Physical World, Cambridge, 1929, p. 176.
4. См. И. С. Шкловский, Вселенная, жизнь, разум, Изд. АН СССР, 1962.

ГЛАВА 37

1. Второй в мире фотогелиограф был установлен в России, на Виленской обсерватории. Первые фотогелиограммы были получены Е. Е. Саблером и М. М. Гусевым в 1864 г. (в том числе и с сухим коллодием). В 1865—1876 гг. систематические работы вели П. М. Смыслов и Ф. К. Берг. С 1874 г. подобные наблюдения были начаты и на Московской обсерватории.
2. Д. О. Святский, Очерки истории астрономии в Древней Руси, Историко-астрономические исследования, вып. VIII, 1962, стр. 31.
3. Auguste Comte, Cours de philosophie positive, II, Paris, 1835, 8, 12, 19, лекции.
4. C. A. Young, The Sun, London, 1882, p. 290.
5. J. C. Janssen, Indication de quelques-uns des resultats, etc., Comptes Rendus de l'Acad. d. Sciences, LXVII, 1868, p. 839.
6. В России первые наблюдения протуберанцев были организованы Ф. А. Бредихиным на Московской обсерватории.
7. Интересно отметить, что к структурной модели атома подошел и Н. А. Морозов в 80-е гг. XIX в.
8. Интересные оценки нижнего предела температуры солнечной поверхности были выполнены московским профессором В. К. Цераским.

ГЛАВА 38

1. В России первыми наблюдателями метеорных потоков были московский профессор астрономии Б. Я. Швейцер и виленский астроном М. М. Гусев, которые уже в 1858 г. организовали корреспондирующие наблюдения Персеид. Позднее систематические коллективные наблюдения метеорных потоков проводились в России под руководством Ф. А. Бредихина.
2. Исследованиями происхождения метеорных потоков и их связи с кометами занимался также и русский ученый Ф. А. Бредихин.
3. В английском переводе опущено и заменено текстом с астрологическим уклоном.
4. *Сенека заметил это значительно раньше, в I в. н. э.*
5. W. Olbers, Ueber den Schweif des grossen Cometen von 1811, Monatliche Correspondenz, XXV, Januar 1812, p. 12.
6. Там же, стр. 14.

7. В английском переводе ошибочно указан иной год, 1862 г. В русском переводе сохранен правильный, 1860 г., данный в оригинале. Следует отметить также, что свою работу Бредихин начал с устранения ошибок, допущенных Бесселем при выводе формул.

8. Как видно из опущенного в английском переводе предложения, А. Паннекук правильно понимал основную заслугу Бредихина: создание им механической теории кометных форм, тщательную разработку этой теории и проверку ее на обширном наблюдательном материале.

9. Здесь А. Паннекуком допущена грубая ошибка. Русский физик П. Н. Лебедев, опираясь на исследования Бредихина, пытался объяснить отталкивательные силы световым давлением. В 1899 г. ему удалось экспериментально обнаружить световое давление на твердые тела, а в 1908 г.— на газы. В 1900 г. Лебедев доложил о своем первом успехе на Международном конгрессе физиков в Париже. О работах Лебедева и его мнении о роли светового давления в образовании хвостов комет С. Аррениус знал и раньше, так как он постоянно переписывался с Лебедевым, который был его другом.

10. В настоящее время обозначается 1882 II.

11. В настоящее время обозначается 1910 I.

12. Линии металлов были обнаружены у 7 комет: 1882 I, 1882 II, 1910 I, 1910 II, 1927 IX, 1956 h, 1957 d.

13. Эта работа была выполнена под впечатлением успешных экспериментов П. Н. Лебедева, доказавшего существование давления света на газы.

14. В настоящее время выяснено, что в образовании ионизованных хвостов I типа участвуют магнитные и гидродинамические силы. Теперь известны отталкивательные силы, в тысячи раз превосходящие ньютоново притяжение.

ГЛАВА 39

1. Ныне г. Тарту Эстонской ССР. В английском переводе ошибочно: «ныне Таллин».

2. Аналогичные исследования проводил и А. А. Белопольский в Пулкове.

3. К сожалению, А. Паннекук совершенно не упоминает о работах советских исследователей переменных звезд.

ГЛАВА 40

1. В более современной формулировке закон Вебера — Фехнера выглядит так: «Ощущение пропорционально логарифму раздражителя, выраженному в единицах порога ощущения».

2. В оригинальном тексте здесь непередаваемый каламбур: «Wagen» — по-голландски «Колесница» (созвездие Большой Медведицы) и, кроме того, «железнодорожный состав». Таким образом: «Колесница мчится как железнодорожный состав».

3. Здесь следовало бы сказать и о пионерах спектроскопии во Франции (П.-Ж. Жансене), а также России (Ф. А. Бредихине и Н. Г. Егорове).

4. Измерением лучевых скоростей много занимался и А. А. Белопольский (Пулково).

5. «Корабль Арго», «Argo Navis» или просто «Корабль» — старое название созвездия. Теперь оно делится на 4 созвездия: Корма, Киль, Паруса и Компас.

6. E. Hertzsprung, Ueber die Sterne der Unterabteilungen *c* und *ac*. etc., Astronomische Nachrichten, № 4296, 1908, CLXXIX, p. 373.

Виллигер 418
Вилсон Александр 443
Вильдт Рупперт 431, 459
Вильзинг 517
Вильямс Стенли 419
Вин В. 457
Витт Г. 379
Вихерт 421
Вицинхо Йозе 199
Вольтер 270, 322, 323
Вольф Макс 385, 509, 535, 546
Вольф Рудольф 444
Вурм Карл 475

Гадлей Джон 316
Галилей Галилео 242—251, 300
Галле 392, 466
Галлей Эдмунд 282, 291, 299, 300, 305, 308, 309, 317, 325
Гамов Г. 558
Ганзен П. А. 374, 387, 391, 398—400
Ганский 446
Гардинг 384
Гаррисон 317
Гартвиг Эрнст 379, 485
Гартманн 538
Гаскойн В. 279
Гассенди 268
Гаусс Карл Фридрих 235, 369, 384, 550
Гевелий (Гевельке) Ян 277, 280, 282
Гейтель 488
Гельмгольц 435, 436
Геминус 118, 119, 146
Гендерсон 372
Гераклид Понтийский 128, 129
Герберт 188
Герцшпрунг Э. 480, 492, 501, 511, 545
Гершель Вильям 336—345, 443, 477, 496, 523
Гершель Джон 422, 449, 477, 496, 498, 533, 537, 543
Геспод 118
Гилл Георг В. 398, 399
Гилл Давид 373, 376
Гиппарх 80, 81, 84, 137—142, 149, 162, 164
Годфри Томас 316
Голечек 545
Горрокс Иеремия 268, 309
Графф К. 502
Грегори Дж. 319
Гримальди 277
Грэхэм 315, 316
Гудакр 409
Гудрайк Джон 345, 484, 485

Гук Роберт 269, 286
Гулд Бенджамин А. 496, 533
Гумбольдт Александр 134, 464
Гутник 488
Гюйгенс Христиан 265, 270, 273—275, 277—279, 292, 294, 295, 300

Дайсон 536
Дамуазо 398
Дарвин Джордж Г. 439, 440
Даунинг 466
Декарт Рене 266, 267
Деламбр 162
Деландр 455
Деларю Варрен 406
Делоне 399
Дельпорт 388
Дембовский 478
Деннинг 419, 467
Дефрис 431
Джабир ибн Афлах 182
Джа'фар Абу Ма'шар (Альбумасар) 179
Джемаль ад-Дин 103
Джефрис 421
Джинс Джеймс 405, 440, 545
Джонсон 379
Джоуль 435
Доллонд Джон 320, 321
Донати 471, 503
Дрейер 537
Дрэпер Генри 406, 458, 470, 506, 537
Дунер 486
Дэвис 533
Дэган 487
Дюгем 431

Евклид 550

Жансен 429, 446, 451

Закуто 199
Захариасен Ганс 272
Зеелигер Г. 425, 527, 529
Зейдель Л. 365, 498
Зутер Г. 183

Ибн аз-Заркали (Арзахель) 182
Ибн ал-Хайсам (Альгазен) 184
Ибн-Сина (Авиценна) 183
Ибн-Юнус 181
Изодор Севильский 176
Исаак бен Саид 182
И-син 102
Истон К. 533, 536
Кавальери 284
Кайле 399